

최 중
연구보고서

남부지역의 제초제(sulfonylurea계) 저항성

논잡초 발생현황과 합리적 방제 기술 개발

Occurrence Situation and Development of Effective Control

Methods of Sulfonylurea-Resistant Weeds in South-Eastern

Area, Korea

연구기관

전남대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “남부지역의 제초제(sulfonylurea계) 저항성 논잡초 발생현황과 합리적 방제 기술 개발” 과제 (세부과제 “남부지역의 제초제(sulfonylurea계) 저항성 잡초의 합리적 방제를 위한 혼합제 신발 및 포장 실증 시험”, “남부지역의 제초제(sulfonylurea계) 저항성 잡초의 교차저항성 검정과 간이 bioassay방법 개발” “남부지역의 제초제(sulfonylurea계) 저항성 잡초의 발생실태 및 생장 발달, 적응성에 관한 연구”)의 최종보고서로 제출합니다.

2003년 8월 11일

주관연구기관명 : 전남대학교
총괄연구책임자 : 구 자 옥
세부연구책임자 : 국용인
연 구 원 : 권오도, 김정성,
신지산, 이재홍,
정하일, 한성욱
협동연구기관명 : 순천대학교
협동연구책임자 : 이도진, 신동영
연 구 원 : 김경현, 류재일,
최갑림, 박재남

요 약 문

I. 제 목

남부지역의 제초제(sulfonylurea계) 저항성 논잡초 발생현황과 합리적 방제 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구목적

우리나라에서는 제초제 저항성 잡초의 출현과 합리적인 방제체계 및 저항성 잡초에 대한 기초적인 연구가 적은 실정이므로 앞으로 필연적으로 농가 포장에서 야기될 저항성 잡초의 문제점과 방제대책을 수립하기 위하여 이 연구를 수행하였다. 구체적으로 본 연구는 SU계 제초제 저항성 잡초발생 현황을 조사하고, 저항성으로 의심된 잡초종을 수집하여 저항성 유무를 확인하였으며, 저항성 잡초종을 가장 간편하게 진단할 수 있는 간이진단법을 개발하는데 있다. 또한 본 연구를 통해 저항성으로 확인된 물탈개비, 미국외풀, 마디꽃, 알방동사니와 올챙고랭이 등의 초종을 대상으로 whole plant 수준에서 ALS 저해제에 대한 교차저항성 유무를 확인하고, 비 SU계 제초제에 대한 다중저항성 유무를 확인하였다. 이들 자료를 근거로 하여 SU계 제초제 저항성 잡초에 대한 방제 체계를 확립하는데 있다. 아울러 SU계 저항성 및 감수성 생체형의 번식능력, 생장 및 경합 능력차이 그리고 저항성 생체형으로 인한 벼의 수량 감소 등을 조사하였다. 이들 저항성 초종에 대한 저항성 기구에 관한 연구도 병행하였다. 본 연구의 최종 목표는 논에서 발생하는 SU계 저항성 잡초종을 효과적으로 방제할 수 있는 제초제를 선발하는데 있다.

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

국내에서는 몇 해전만해도 제초제 저항성 잡초발생이 아주 적었거나 없었기 때문에

저항성 잡초에 관한 연구가 아주 미흡한 실정이었다. 따라서 저항성 잡초종이 발생시 이들 잡초를 방제할 수 있는 대체 약제가 개발되어 있지 않을 뿐만 아니라, 현재까지는 이에 관한 어떠한 기술적으로 이용될 수 있는 정보를 소장하고 있지 않다. 그러나 미국 등지에서는 제초제 저항성 잡초에 관한 연구가 활발히 진행되고 있어 문제 저항성 잡초를 방제할 수 있는 대체 제초제 개발의 기술을 농업에 응용할 수 있고, 또한 많은 연구자들은 제초제 저항성 잡초가 출현한 포장에서는 작물 윤작을 권장하고 혼합제 처리 또는 단계의 체계처리, 경운 및 물관리 등 방법을 제시하여 농산물 생산성을 증대할 수 있는 방향성을 제시하고 있다. 그러나 이들 국가에서 발생된 잡초종과 제초제는 우리나라와 상이하므로 한국에 적합한 제초제 저항성 잡초방제 전략을 수립하여야 할 것으로 보인다.

나. 경제·산업적 측면

제초제는 잡초의 효율적인 방제를 위하여 사용되는 가장 중요한 도구이다. 현재 많은 제초제들이 개발되어 소개되고 있지만 보다 경제적이며 효율적인 잡초방제를 통한 농산물의 생산증대와 농업환경보호를 위해서 많은 연구가 지속적으로 필요한 실정이다. 그러나 동일제초제 및 동일한 작용기작을 가진 제초제를 매년 동일포장에 사용함으로써 제초제 저항성 잡초가 출현하였다. 이로 인하여 농민 및 농약회사의 경제적·사회적 손실을 수반하며, 농산물의 국제 경쟁력을 상실케 한다.

다. 사회·문화적 측면

우리나라 농민들에게 제초제 저항성 잡초의 이해관계를 증대시킬 수 있으며, 제초제의 효율적인 사용 체계법을 제시하여 약제의 사용량 감소와 효과적인 방제에 공헌함으로써 환경보전형의 지속적 농업에 공헌할 수 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

- ① 남부지역의 주요 농가의 현장 조사를 통하여 제초제 처리 후 잔존 잡초종의 종류와 방제 방법, 제초제 사용내력 및 재배양식 등을 파악한다.

- ② Sulfonylurea계 제초제에 저항성으로 의심되는 잡초 수집 및 저항성 여부확인
- ③ 농가포장의 잔존 잡초종중 sulfonylurea계 저항성잡초 출현실태의 지역별 조사
- ④ 단시간에 제초제 저항성 잡초 여부를 확인할 수 있는 간이 bioassay법 확립
- ⑤ Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 생태형간의 ALS inhibitor제에 대한 반응
- ⑥ 작용기작이 다른 비 sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 생태형의 반응
- ⑦ 저항성 생태형의 번식 능력 및 생장 발달 차이
- ⑧ Sulfonylurea계 제초제 저항성잡초 방제를 위한 기초자료로서 표적효소(ALS) 활성을 *in vitro* 및 *in vivo* 수준에서 확인
- ⑨ Sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초의 효과적인 방제체계 확립을 위하여 비 sulfonylurea계 제초제와의 상호작용 평가에 의한 혼합제 선발
- ⑩ Sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초방제를 위한 포장실증시험

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 전남지역 수도작 지대 잔존잡초의 Sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 반응

전남 15개 시군 주요 농가의 농민 114명을 대상으로 수도작 재배양식, 논 제초제 사용현황, 잔존 잡초종, 잔존잡초 방제방법 등에 관한 설문조사를 실시하였으며 각 지역에서 논토양을 채취하여 sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 반응과 ALS 저해형 제초제에 대한 교차 저항성을 검토하였다. 조사 농민의 주요 소득원은 50%가 수도작으로 응답하였으며 재배양식은 80% 이상이 기계이앙재배를 실시하고 있었다. 이앙전이나 파종전에 농가에서 사용하는 제초제는 주로 oxadiazon(14.9%)과 butachlor(10.5%)였으며 이앙후에는 butachlor(17.5%), pyrazosulfuron-ethyl + molinate(15.8%), bensulfuron-methyl + molinate(12.3%) 등이었다. 제초제 처리후 논에 잔존하는 주요 잡초는 피(24.6%), 물달개비(23.7%)가 주를 이루었으며 이러한 잔존잡초는 손으로 제거(39.5%)하거나 제초제를 다시 처리(29.8%)하는 농민이 상당부분을 차지하였다. 같은 제초제는 2년(32.5%)에서 3년(21.1%) 정도 사용하였으며 제초제 처리량은 기준량을 지키고 있는 비율이 43.9%로 나타났으나 효과가 없을 것 같다(38.6%)거나

항상 처리해 오던 경험(10.5%)으로 40.4%의 농민이 추천량보다 많은 양을 처리하고 있었다.

17개 지역 201개 장소에서 채취한 논토양에서 발아한 잡초는 피, 물달개비, 발뚝외 풀, 미국외풀, 마디꽃 등이었으며 imazosulfuron에 대한 저항성은 74개 장소(37%)에서 나타났다. 초종별로는 물달개비 61개 장소, 미국외풀 8개 장소, 발뚝외풀 5개 장소 및 마디꽃 1개 장소에서 저항성으로 확인되었다. 이중 가장 저항성을 보인 각각의 잡초 종에 대해 ALS 저해제, azimsulfuron, bensulfuron-methyl, cinosulfuron, cyclosulfamuron, imazosulfuron, LGC-42153 및 pyrazosulfuron-ethyl에 대해 교차저항성을 검정한 결과, 모든 초종은 이들 제초제에 대하여 교차저항성을 나타내는 것으로 확인되었다. 따라서 sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초방제를 위한 효율적인 방안 제시가 요망된다.

2. Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비의 간이 진단법

SU계 저항성 물달개비는 최근 논에서 출현하고 있다. 제초제 저항성을 확인하는 빠르고 정확한 수단이 필요하다. 그래서 본 연구는 SU계 저항성 물달개비 생태형을 탐색하는데 빠르고 신뢰할 수 있는 분석법을 찾고자 하였다. 본 연구에 사용한 방법은 종자 발아, *in vivo*와 *in vitro* ALS 활성, 잎과 whole-plant bioassay법이다. Whole-plant bioassay 방법에 의한 저항성 생태형의 지상부 건물중은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에 3,200배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 7배 덜 영향을 받았다. 비록 whole-plant bioassay법이 신뢰할만한 방법이라도 이 방법은 비싸고, 많은 시설이 필요하다. Leaf bioassay 방법에 비해 imazosulfuron에 의해 200배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 의해 100배 적게 억제되었다. Petri dish bioassay에 의한 저항성 생태형의 발아율은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에 의해 200배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 의해 100배 적게 억제되었다. Petri dish에 의한 종자발아 검정법은 whole-plant bioassay법처럼 시설이 많이 필요하지도 않고 훨씬 짧은 기간에 분석할 수 있다. Leaf bioassay 검정에서 저항성 생태형의 잎의 색깔은 감수성 생태형에 비교하여 imazosulfuron에 의해 1,600배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 의해 300배 덜 영향을 받았다. 이 분석법은 완성하는 약 6일이 걸린다. *In vivo* ALS 분석은 *in vitro* ALS 분석에 비해 ALS 제초제에 저항성 수준이 낮게 나타났다. 즉, *in vitro* ALS 분석에서

저항성 생태형은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에 200배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 30배 털 민감하였다. 사용한 모든 분석법은 감수성 생태형으로부터 저항성 생태형을 성공적으로 구별할 수 있으나, *in vitro* 분석법이 가장 간단하고 빠르다. 그래서 *in vitro* ALS 분석법은 물달개비 개체에서 저항성 유무를 확인하는데 표준 방법으로 선발하였다. 저항성 기구가 증가한 제초제 대사 또는 작용점의 과다발현인 경우는 *in vitro* 분석법은 적당하지 않기 때문에 주의가 필요하다. 결과는 포장 역사와 포장 관찰에 관련하여 해석해야 할 것이다.

3. Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 잡초종의 생장특성과 저항성 잡초종에 의한 벼 수량감소

Sulfonylurea계 제초제 저항성과 감수성 물달개비, 미국외풀 및 마디꽃의 생장량 차이와 이들 저항성 잡초의 경합에 의한 벼의 수량감소를 알아 보기 위하여 은실과 포장실험을 수행하였다. 발아율은 생장상에서 파종 후 6일 동안 조사하였으며, 은실의 비경합조건에서 저항성 및 감수성 잡초종들의 초장, 엽수 및 지상부 건물중을 이식 후 65일 동안 1주일 간격으로 조사하였다. 포장에서 각각의 저항성 잡초와 벼의 경합을 유도한 후 수확기에 벼의 수량과 수량구성 요소를 조사하였다. Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비와 마디꽃의 발아율은 감수성 생태형보다 높았으나 미국외풀은 저항성과 감수성 생태형간에 차이가 없었다. 비경합조건하에서 sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 물달개비, 미국외풀 및 마디꽃의 초장, 엽수 및 지상부 건물중은 미국외풀의 초장을 제외하고는 차이가 없었다. 따라서 저항성과 감수성 생태형간에 경합력은 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 벼 담수직파제배에서 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 합제를 처리하고 생존한 저항성 물달개비, 미국외풀 및 마디꽃에 의한 벼의 수량은 손제초구에 비해 각각 65%, 44% 및 35% 감소하였으며, 수량구성요소 중 주로 수수와 수당입수의 감소가 컸다.

4. Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비 생태형의 경합기간 및 밀도별 벼의 생장 및 수량

본 연구는 담수직파제배와 이앙재배 논에서 sulfonylurea계 제초제 처리 후에도 방제되지 않고 살아남아 문제시되는 저항성 물달개비와 벼의 경합에 따른 벼 생육 및

수량에 미치는 영향을 검토하여 저항성 물탈개비 방제 한계기간을 설정하기 위해 수행하였다. 비경합적인 조건하에서 sulfonylurea계 제초제에 저항성과 감수성 물탈개비 생태형간의 지상부 건물중은 차이가 없었다. 파종 또는 이앙 후 24일부터 66일 경합 기간 동안 발생한 저항성 물탈개비의 발생본수, 초장, 엽수 및 건물중은 답수직파와 이앙제배양식간에 유의적인 차이는 없었다. 그러나 벼의 진 생육기간(146일)동안 물탈개비 방입구에서 저항성 물탈개비 발생본수는 두 제배양식 모두에서 오히려 초기 경합기간보다 감소하였다. 저항성 물탈개비와 벼의 경합에 의한 벼 초장과 분얼수 감소는 이앙제배 보다 직파제배에서 크게 나타났으며 이러한 감소정도는 경합기간이 증가할수록 증가하였다. 저항성 물탈개비와 벼의 경합기간이 증가할수록 직파제배 벼는 수수가, 이앙제배 벼는 수수와 수당입수가 현저하게 감소되었으며 벼의 진 생육기간 동안 물탈개비를 방치할 경우, 무경합구에 비해 벼의 수량은 직파제배에서 70% 그리고 이앙제배에서 44%가 저항성 물탈개비에 의해 감소되었다. 따라서 저항성 물탈개비의 적절한 방제 한계기간은 직파제배에서는 파종 후 31일 이내에 그리고 이앙제배에서는 이앙 후 45일 이내이었다.

5. 한국 벼 재배지에서 Sulfonylurea계 제초제 저항성 물탈개비 방제법과 저항성 기작

전남지방에서 수집한 9개 물탈개비 수집종을 whole-plant bioassay에 의해 SU계 제초제인 imazosulfuron에 저항성을 조사하였다. 모든 수집종은 imazosulfuron에 저항성으로 확인되었다. 저항성 수집종의 GR₅₀는 감수성 수집종에 비해 1,112 - 3,172(수집종 #9)배 높았다. 수집종 #9는 다른 SU계 제초제인 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 교차저항성을 보였으나, imidazolinone계 제초제인 imazapyr와imazaquin에는 교차저항성이 없었다. 저항성 생태형은 SU계와 다른 작용기작을 가진 mefenacet와 pyrazolate 추천량을 토양에 처리했을 때 완전 방제되었다. 또한, 경엽처리 제초제인 2,4-D와 bentazon 처리에 의해서도 저항성과 감수성 생태형이 방제되었다. SU계 혼합제 중 ethoxysulfuron + fentrazamide를 제외하고는 저항성 물탈개비를 방제하지 못했다. 벼 수량은 직파제배에서 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 물탈개비에 의해 손제초에 대비하여 70% 감소하였

다. 한편, 벼 수량은 이앙재배에서 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 물달개비에 의해 pyrazolate + butachlor 처리에 대비하여 44% 감소하였다. 저항성 생태형의 *in vitro* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron, bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron 및 pyrazosulfuron-ethyl에 각각 183, 35, 130 및 31 배 저항성이었다. Imidazolinone계 제초제인 imazapyr와 imazaquin에서는 저항성과 감수성 생태형간의 *in vitro* ALS 활성은 유사하였다. 또한 저항성 생태형의 *in vivo* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 SU계 제초제인 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 덜 영향을 받았다. *In vitro* 및 *in vivo* ALS 활성 결과로 볼 때SU계 제초제 물달개비 저항성 기구는 작용점 효소 ALS 변형에 기인되는 것으로 생각할 수 있다. 효소분석에서 저항성 수준은 whole-plant 분석에서 보다 훨씬 낮기 때문에 제초제 대사와 같은 다른 저항성 기구도 관련될 수가 있다.

6. 논에서 Sulfonylurea계 제초제 저항성 미국외풀 방제법 및 저항성 기작

전남지방에서 수집한 미국외풀이 SU계 제초제인 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl 에 대해 저항성인지를 whole-plant bioassay로 알아보았다. 수집종은 이들 두 제초제에 저항성이었다. 저항성 수집종의 GR₅₀는 감수성 수집종에 비해 imazosulfuron에 의해 264배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 의해 19배 높았다. Pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 저항성 미국외풀은 토양처리 제초제인 butachlor, dithiopyr, pyrazolate 및 thiobencarb 그리고 경엽처리 제초제인 bentazon에 의해 방제되었다. 또한, azimsulfuron + anilofos, bensulfuron-methyl + oxadiazon, pyrazosulfuron-ethyl + fentrazamide 및 pyrazosulfuron-ethyl + anilofos + carfentrazon과 같은 SU계 혼합제는 생존한 미국외풀을 방제하는데 사용할 수 있다. 그러나 이들 혼합제의 사용은 특별하게 필요한 경우만 제한되어야 한다. 그래서 butachlor + pyrazolate 그리고 MCPB + molinate + simetryn과 같은 비 SU계 혼합제 체계처리가 SU계 제초제 처리 후 생존한 저항성 미국외풀을 방제하는데 사용할 수 있다. 이앙재배에서 벼 수량은 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 미국외풀은 pyrazolate + butachlor 처리에 대비하여 24% 감소하였다. 저항성 생태형의 *in vitro* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에 의해 40배 그리고

pyrazosulfuron-ethyl에 의해 30배 더 저항성이었다. *In vitro* ALS 분석결과 볼 페 SU계 제초제에 미국외풀 저항성기구는 작용점 효소 ALS 변형에 기인될 것이다.

7. Imazosulfuron에 저항성 마디꽃의 교차저항성과 효과적인 방제 가능 제초제 선발

본 연구는 전남지방에서 수집한 마디꽃 수집종이 SU계 제초제에 저항성인지를 알아보기 위하여 수행하였다. 수집종은 저항성으로 확인되었고, 다른 SU계 제초제인 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron 및 pyrazosulfuron-ethyl에 대해 교차저항성이 있었으나 imidazolinone계 제초제인 imazapyr와 imazaquin에는 교차저항성이 없었다. ALS 저해제와 작용기작이 다른 8가지 제초제를 사용하여 다중저항성을 조사하였다. 저항성 생태형은 SU계와 작용기작이 다른 제초제인 fentrazamide와 mefenacet에 의해 방제되었다. 또한 제초제 혼합제, butachlor + pyrazolate 그리고 MCPB + molinate + simetryn는 저항성 및 감수성 마디꽃 생태형을 방제할 수 있다. 비록 다른 작용기작을 가진 제초제와 SU계 제초제와 혼합제가 저항성 생태형을 방제할 수 있다 라도, 이들 혼합제 사용은 피해야 한다. 저항성 생태형의 *in vivo* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron 및 pyrazosulfuron-ethyl에 대해 각각 35, 26, 278 및 7배 더 저항성이었다. Imazosulfuron에 마디꽃의 저항성 기구는 주로 작용점 효소 ALS의 변형에 기인되었다. 효소분석에서 SU계 제초제에 저항성 수준이 whole-plant 분석에서 보다 훨씬 적었기 때문에 제초제 대사 또는 감소된 흡수 및 이행과 같은 제초제 저항성 기구도 관련될 수도 있다.

8. SU계 제초제 저항성 알방동사니에 대한 교차저항성과 방제 가능 제초제 선발

전남지방에서 수집한 알방동사니를 SU계 제초제인 imazosulfuron에 저항성 유무를 알아보고자 하였다. 수집종은 저항성으로 확인되었고, 다른 SU계 제초제인 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron 및 pyrazosulfuron-ethyl, pyrimidiny thiobenzoate계 제초제인 bispyribac-sodium 그리고 imidazolinone계 제초제인 imazapyr에 교차저항성을 보였으나, imidazolinone계 제초제인 imazaquin에는 교차저

항성을 보이지 않았다. 다중저항성을 알아보기 위하여 ALS와 작용점이 다른 12가지 제초제를 사용하였다. 저항성 생태형은 butachlor, carfentrazone-ethyl, clomeprop, dithiopyr, esprocarb, mefenacet, oxadiazon, pretilachlor, pyrazolate 및 thiobencarb와 같은 다른 작용기작을 제초제를 추천량으로 토양에 처리했을 때 방제되었다. SU + dimepiperate, molinate 또는 pyriftalid를 제외한 몇몇 SU계 혼합제와 pyrazolate + butachlor는 저항성 및 감수성 생태형을 방제할 수 있다. 비록 SU계 혼합제가 더 효과적이더라도 그들 사용을 피하여야하고 단지 특별한 경우에만 사용되어야 한다. 저항성 생태형의 *in vitro* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl, bispyrifac-sodium 및 imazapyr에 대해 각각 1,139, 3,583, 1,482, 416, 5 및 9배 더 저항성이었다. 또한 저항성 생태형의 *in vivo* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 SU계 제초제인 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 덜 영향을 받았다. *In vitro*와 *in vivo* ALS 분석 결과, ALS 저해제 제초제에 알방동사니의 저항성 기구는 주로 작용점 ALS 변형에 기인되는 것으로 생각된다.

9. SU계 저항성 올챙고랭이 방제법 및 저항성 기구

Sulfonyleurea(SU)계 제초제에 저항성으로 의심된 올챙고랭이를 전라남,북도 4개 지역에서 수집하여 SU계 제초제인 pyrazosulfuron-ethyl에 대한 저항성 유무를 확인하였다. 이들 수집종 중 전라북도 김제 수집종은 pyrazosulfuron-ethyl에 저항성으로 확인되었고, 다른 SU계 제초제인 azimsulfuron, bensulfuron-methyl 및 imazosulfuron 그리고 imidazolinone계 제초제인 imazapyr 및 imazaquin에도 교차저항성을 보였다. 저항성 생태형은 SU계와 작용기작이 다른 제초제, butachlor, pretilachlor 및 thiobencarb의 표준량 처리로 75-80%가 방제되었다. 혼합제 중에는 bensulfuron + bifenox 및 pyrazolate + butachlor는 저항성 올챙고랭이를 완전 방제할 수 있었다. 저항성 생태형의 *in vitro* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 대해 각각 78배 및 23배 더 저항성이었다. 따라서 SU계 제초제에 대한 올챙고랭이 저항성 기작은 주로 작용점 효소인 ALS 변형에 기인되었다. 그러나 효소분석에 의한 SU계 제초제 저항성 수준이 whole plant 분석에 비해 훨씬

적었으므로 제조제 대사 또는 흡수 및 이행의 감소와 같은 다른 저항성 기작도 관련 될 수 있을 것으로 생각된다. 저항성과 감수성 생체형간에는 적응성 차이가 인정되었 다.

SUMMARY

1. Resistant responses of the remaining weeds to sulfonylurea herbicides in Jeonnam, Korea

This study was conducted to evaluate the remaining weed species in paddy fields by questionnaire investigation and resistant responses of the remaining weeds to acetolactate synthase (ALS) inhibitors in Jeonnam, Korea. Out of 114 farms in 15 districts, 50% of the farms had cultivated paddy rice as a part of the farm income. Mechanical transplanting has been employed in more than 80% of the total cultivated rice paddy fields. The most common herbicide treatments at post-transplanting in paddy rice fields included butachlor (17.5% of the total farms), pyrazosulfuron-ethyl + molinate (15.8%), bensulfuron-methyl + molinate (12.3%). The most common weeds remaining after the herbicide treatment in paddy fields included *Echinochloa crus-galli* (24.6% of the total farms) and *Monochoria vaginalis* (23.7%). All remaining weeds were controlled by hand-weeding (39.8% of total farms) or by herbicide retreatment at rice cultivation (29.8%). The same herbicide in the farms used 2 years (32.5%) or 3 years (21.1%) in the same paddy fields. Also, 43.9% of farmers treated at the recommended herbicide rates but 40.4% of the farmers treated at rates higher than recommended which may not provide economically effective, long-term weed control in paddy rice fields. The weeds that germinated in 201 paddy field soils collected in Jeonnam included *E. crus-galli*, *M. vaginalis*, *Lindernia procumbens*, *L. dubia* and *Rotala indica*. *M. vaginalis*, *Lindernia procumbens*, *L. dubia* and *Rotala indica* were resistant to imazosulfuron in 74 of the 201 paddy field soils collected. Of these, *M. vaginalis* showed resistance in 61 different field samples. *L. dubia* (8), *L. procumbens* (5) and *R. indica* (1) accounted for the remainder of the weeds resistant to imazosulfuron in field samples. All resistant weeds showed confirmed cross-resistant to ALS inhibitors, azimsulfuron, bensulfuron-methyl, cinosulfuron, cyclosulfamuron, imazosulfuron, LGC-42153 and pyrazosulfuron-ethyl.

2. Rapid diagnosis of resistance to sulfonylurea herbicides in monochoria (*Monochoria vaginalis*)

Sulfonylurea (SU)-resistant *Monochoria vaginalis* Presl. has recently been found in paddy fields in Korea. A quick and accurate means of confirming herbicide resistance is necessary to make timely management decisions. This paper describes a rapid and reliable assay to detect SU-resistant biotype of *M. vaginalis*. The techniques tested include seed germination, *in vivo* and *in vitro* acetolactate synthase (ALS; EC 4.1.3.18) activity, leaf, and whole-plant bioassays. In the whole-plant bioassay, shoot dry weight of the resistant (R) biotype was 3,200-fold less affected by imazosulfuron and 7-fold less affected by pyrazosulfuron-ethyl than the susceptible (S) biotype. Although the whole-plant bioassay is reliable, it is expensive, requires a lot of infrastructure, and takes a few months to complete. The germination rate of the R biotype in petri dish bioassays was >200-fold less inhibited by imazosulfuron and 100-fold less inhibited by pyrazosulfuron-ethyl than the S biotype. Seed germination bioassays in petri dishes do not require as much infrastructure as whole-plant bioassays and can be completed in a shorter period of time. Leaf bioassays showed that leaf color of the R biotype was >1,600- and 300-fold less affected by imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl, respectively, compared with the S biotype. This assay takes about 6 d to complete. *In vivo* ALS assays showed lower levels of resistance to ALS herbicides than *in vitro* ALS assays where the R biotype was about 200- and 30-fold less sensitive to imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl, respectively than the S biotype. All assays successfully distinguished R from S biotype, but *in vitro* ALS assays are the simplest, and quickest. The *in vitro* ALS assay was chosen as the standard procedure for future confirmation of resistance in *M. vaginalis* populations. Caution is needed because the *in vitro* assay is not appropriate in cases where in the resistance mechanism is increased metabolism of the herbicide or overexpression of the target enzyme. Results should be interpreted in relation to field history and

field observations. Follow-up studies are also needed to verify that other resistance mechanisms do not confound the *in vitro* assay.

3. Germination and growth of sulfonylurea herbicide-susceptible and -resistant *Monochoria vaginalis*, *Lindernia dubia*, and *Rotala indica* biotypes and rice yield loss by the resistant weed

Greenhouse and field studies were conducted to compare the growth of sulfonylurea (SU)-resistant and -susceptible *Monochoria vaginalis*, *Lindernia dubia*, and *Rotala indica* biotypes under noncompetitive conditions and determine rice yield loss by those resistant weeds. Germination rates in petri dish were recorded for 6 days after seeding. Plant height, number of leaves, and aboveground biomass were measured periodically during 65 days after transplanting under noncompetitive conditions in a greenhouse. Rice yield and its components were also investigated at harvest time after competition with rice and each resistant weed in the field. The germination rates in SU-resistant *M. vaginalis* and *R. indica* biotypes were higher than in SU-susceptible biotypes. However, the germination rates in *L. dubia* did not differ between resistant and susceptible biotypes. Plant height, number of leaves, and aboveground biomass of SU-resistant and -susceptible *M. vaginalis*, *L. dubia*, and *R. indica* biotypes were the same except at plant height in *L. dubia* under noncompetitive conditions. This indicates that the resistant biotypes are most likely as competitive as the susceptible biotypes. Rice yield was reduced 65%, 44%, and 35% by resistant *M. vaginalis*, *L. dubia*, and *R. indica* that escaped the pyrazosulfuron-ethyl plus molinate compared with hand weeding in direct-seeded rice culture, respectively. Rice yield loss was directly due to the number of panicles produced per plant and spikelets per panicle.

4. Growth and yield of rice as affected by competitive period and density of resistant *Monochoria vaginalis* biotype to sulfonylurea herbicides

This study was conducted to establish a critical day limit for control of resistant *Monochoria vaginalis* biotype to sulfonylurea herbicides through a study of the effect of rice growth and yield as affected by competition between resistant *M. vaginalis*, which remained intact after herbicide application and rice in paddy fields of direct-seeded rice culture and transplanted rice culture. There was no difference in shoot dry weight between sulfonylurea resistant and susceptible *M. vaginalis* biotypes in noncompetitive conditions. The number of individuals, height, number of leaves, and shoot dry weight per m² in resistant *M. vaginalis* during a competitive period of 24 to 66 days after seeding or transplanting did not show a significant difference between direct-seeded rice culture and transplanted rice culture. However, the number of individual in resistant *M. vaginalis* decreased in that they were more affected by weed competition during a whole rice growing period of 146 days after seeding or transplanting in both rice cultivation methods rather than the early competitive period. Height and number of tiller of rice as affected by competition of resistant *M. vaginalis* decreased more in direct-seeded rice culture than in transplanted rice culture, and the level of decrease was higher with an increasingly competitive period. The number of panicle per m² in direct seeded culture and the number of panicle per m² and spikelet per panicle in transplanted culture decreased severely with a longer competitive period of resistant *M. vaginalis* with rice. When resistant *M. vaginalis* was not controlled during a whole rice growing period, rice yield was reduced by 70% in direct-seeded rice culture and by 44% in transplanted rice culture respectively when compared with a noncompetitive plot. Therefore, a critical day limit for control of resistant *M. vaginalis* was, at the least, within 31 days after seeding in direct-seeded culture and was within 45 days after transplanting in transplanted rice culture.

5. Sulfonylurea herbicide-resistant *Monochoria vaginalis* in Korean rice culture

Nine *Monochoria vaginalis* accessions from Chonnam province, Korea were tested for resistance to sulfonylurea (SU) herbicide, imazosulfuron in whole-plant response bioassay. All accessions were confirmed resistant (R) to imazosulfuron. The GR50 (imazosulfuron concentration that reduced shoot dry weight by 50%) values of R accessions were 1,112 to 3,172 (accession #9) times higher than that of the standard susceptible (S) accession. Accession #9 exhibited cross-resistance to other SU herbicides, bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, and pyrazosulfuron-ethyl, but not to imidazolinone herbicides, imazapyr and imazaquin. The R biotype could be controlled by other herbicides with different modes of action, such as mefenacet and pyrazolate, applied to soil at recommended rates. Foliar-applied herbicides, 2,4-D and bentazon also controlled both the R and S biotypes. Sulfonylurea-based mixtures, except ethoxysulfuron plus fentrazamide, did not control resistant *M. vaginalis*. Rice yield was reduced 70% by resistant *M. vaginalis* that escaped the pyrazosulfuron-ethyl plus molinate compared with hand weeding in direct-seeded rice culture. On the other hand, rice yield was reduced 44% by resistant *M. vaginalis* that survived the pyrazosulfuron-ethyl plus molinate treatment compared with pyrazolate plus butachlor in transplanted rice culture. In vitro ALS activity of the R biotype was 183, 35, 130, and 31 times more resistant to imazosulfuron, bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, and pyrazosulfuron-ethyl, respectively, than the S biotype. Imidazolinone herbicides, imazapyr and imazaquin had similar effect on in vitro ALS activity of the R and S biotypes. The in vivo ALS activity of the R biotype was also less affected than the S biotype by SU herbicides, imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl. Results of in vitro and in vivo ALS assays indicate that the resistance mechanism of *M. vaginalis* to SU herbicides may be due, in part, to an alteration in the target enzyme, ALS. Since the level of resistance in the enzyme assay was much lower than that in the

whole-plant assay, other mechanisms of resistance, such as herbicide metabolism, may be involved.

6. Control of sulfonylurea herbicide-resistant *Lindernia dubia* (L.) Pennell var. *dubia* in Korean rice culture

A *Lindernia dubia* (L.) Pennell var. *dubia* accession from Jeonnam province, Korea was tested for resistance to sulfonylurea (SU) herbicide, imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl in whole-plant response bioassay. The accession was confirmed resistant to both herbicides. The GR₅₀ (herbicide concentration that reduced shoot dry weight by 50%) values of resistant accession were 264 and 19 times higher to imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl, respectively, than that of the standard susceptible accession. The surviving resistant *L. dubia* after pyrazosulfuron-ethyl + molinate application can be controlled by sequential applications of soil-applied herbicides, butachlor, dithiopyr, pyrazolate, and thiobencarb and foliar herbicides, bentazon. Sulfonylurea-based mixtures such as mixtures of azimsulfuron + anilofos, bensulfuron-methyl + oxadiazon, pyrazosulfuron-ethyl + fentrazamide, and pyrazosulfuron-ethyl + anilofos + carfentrazone can also be used to control the surviving resistant *L. dubia*. However, use of these mixtures should be restricted to a special need basis. Thus, we suggest that sequential applications of non- SU-based mixtures such as butachlor + pyrazolate and MCPB + molinate + simetryn be used to control the surviving resistant *L. dubia* after SU herbicide applications. Rice yield was reduced 24% by resistant *L. dubia* that survived after the pyrazosulfuron-ethyl + molinate application compared with pyrazolate + butachlor in transplanted rice culture. In vitro ALS activity of the resistant biotype was 40 and 30 times more resistant to imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl, respectively, than the susceptible biotype. Result of in vitro ALS assay that the resistance mechanism of *L. dubia* to SU herbicides may be due, in part, to an alteration in the target enzyme, ALS.

7. Cross-resistance pattern and alternative herbicides for *Rotala indica* resistant to imazosulfuron in Korea

A *Rotala indica* accession from Chonnam province, Korea was tested for resistance to sulfonyleurea (SU) herbicide, imazosulfuron. The accession was confirmed to be resistant (R) and was cross-resistant to other SU herbicides, bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, and pyrazosulfuron-ethyl, but not to imidazolinone herbicides, imazapyr and imazaquin. Multiple resistance was tested using eight herbicides with target sites other than acetolactate synthase (ALS). The R biotype was susceptible to other herbicides with different modes of action, such as fentrazamide and mefenacet. Herbicide mixtures, butachlor + pyrazolate and MCPB + molinate + simetryne can also control R biotype of *R. indica*. Although mixtures of SU herbicides with other modes of action can control the R biotype, use of these mixtures should be avoided. In vivo ALS activity of the R biotype was 35-, 26-, 278-, and 7-fold more resistant to bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron, and pyrazosulfuron-ethyl, respectively, than the S biotype. The resistance mechanism of *R. indica* to imazosulfuron was mainly due to an alteration in the target enzyme, ALS. Since the level of resistance to other SU herbicides in the enzyme assay was much lower than that in the whole-plant assay, other mechanisms of resistance, such as herbicide metabolism, or reduced absorption and translocation may be involved.

8. Cross-resistance pattern and alternative herbicides for *Cyperus difformis* resistant to sulfonyleurea herbicides in Korea

A *Cyperus difformis* accession from Chonnam province, Korea was tested for resistance to sulfonyleurea (SU) herbicide, imazosulfuron. The accession was confirmed to be resistant (R) and was cross-resistant to other SU herbicides, bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, and pyrazosulfuron-ethyl, pyrimidiny thiobenzoate herbicide, bispyribac-sodium and imidazolinone herbicide, imazapyr,

but not to imazaquin. Multiple resistance was tested using twelve herbicides with target sites other than acetolactate synthase (ALS). The R biotype could be controlled by other herbicides with different modes of action such as butachlor, carfentrazone-ethyl, clomeprop, dithiopyr, esprocarb, mefenacet, oxadiazon, pretilachlor, pyrazolate, and thiobencarb, applied to soil at recommended rates. Several SU herbicide-based mixtures can control both the R and S biotypes of *C. difformis*, except SU plus dimepiperate, molinate, or pyriftalid and pyrazolate plus butachlor. Although mixtures of SU herbicides might be more effective, they should be avoided and used only in special cases. In vitro ALS activity of the R biotype was 1,139-, 3,583-, 1,482-, 416-, 5-, and 9-fold more resistant to bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl, bispyribac-sodium, and imazapyr, respectively, than the S biotype. The *in vivo* ALS activity of the R biotype was also less affected by SU herbicides, imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl, than the S biotype. Results of in vitro and *in vivo* ALS assays indicate that the resistance mechanism of *C. difformis* to ALS inhibitor herbicides was primarily due to an alteration in the target enzyme, ALS.

9. Sulfonylurea herbicide-resistant *Scirpus juncooides* Roxb. in Korean rice culture

Four *Scirpus juncooides* Roxb. accessions from Jeonnam and Jeonbuk province, Korea were tested for resistance to sulfonylurea (SU) herbicide, pyrazosulfuron-ethyl. Among the accessions, an accession (Jeonbuk Kimjae) was confirmed resistant (R) and was cross-resistant to other SU herbicides, azimsulfuron, bensulfuron-methyl, and imazosulfuron, and to imidazolinone herbicides, imazapyr and imazaquin. The R biotype was fair controlled (75-80%) by other herbicides with different modes of action, such as butachlor, pretilachlor and thiobencarb, used at the recommended use rate. Herbicide mixtures, bensufuresate + bifenoxy and pyrazolate + butachlor can also control R biotype of *S. juncooides*. In vitro ALS

activity of the R biotype was 78- and 23-fold more resistant to imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl, respectively, than the susceptible (S) biotype. The resistance mechanism of *S. juncooides* to SU herbicides was mainly due to an alteration in the target enzyme, ALS. Since the level of resistance to SU herbicides in the enzyme assay was much lower than that in the whole-plant assay, other mechanisms of resistance, such as herbicide metabolism, or reduced absorption and translocation may be involved.

CONTENTS

Summary	2
Contents	28
Chapter 1. Outline of the report on development of research	35
Section 1. Objectives and necessities of the development of research	35
1. Objectives of research	35
2. Necessities of the development of research	35
1) Technical scope	35
2) Economical scope	36
3) Social scope	36
Section 2. Scope of research	37
Chapter 2. Statues of research in Korea and other countries	38
Section 1. Recent research trend in Korea and other countries	38
Section 2. Position of the outcome of the research at the present status of progress	43
Chapter 3. Contents and products of the development of research	44
Section 1. Resistant responses of the remaining weeds to sulfonylurea herbicides in Jeonnam, Korea	44
1. Introduction	44
2. Materials and methods	45
1) Methods and contents of questionnaire investigation	45
2) Sampling of paddy fields and resistance evaluation	45
3. Results and discussion	46
1) Using herbicides and remaining weeds	46
2) Resistance evaluation	50
4. Conclusion	55

Section 2. Rapid diagnosis of resistance to sulfonylurea herbicides in monochoria (<i>Monochoria vaginalis</i>)	56
1. Introduction	56
2. Materials and methods	57
1) Seed sources	57
2) Whole-plant response	57
3) Seed germination bioassay	58
4) Leaf bioassay	58
5) <i>In vitro</i> ALS assay	59
6) <i>In vivo</i> ALS assay	60
3. Results and discussion	61
1) Whole-plant bioassay	61
2) Seed germination bioassay	63
3) Leaf bioassay	63
4) <i>In vitro</i> ALS activity	65
5) <i>In vivo</i> ALS activity	68
4. Conclusion	70
Section 3. Germination and growth of sulfonylurea herbicide-susceptible and -resistant <i>Monochoria vaginalis</i> , <i>Lindernia dubia</i> , and <i>Rotala indica</i> biotypes and rice yield loss by the resistant weeds	72
1. Introduction	72
2. Materials and methods	73
1) Response to sulfonylurea herbicides	73
2) Noncompetitive productivity between SU-resistant and susceptible biotypes	73
(1) Plant materials	73
(2) Seed germination	73
(3) Growth and seed production between resistant and susceptible	

biotypes in non-competitive conditions	74
(4) Photosynthesis rates	74
(5) Rice growth and yield as affected by SU-resistant weeds	74
3. Results and discussion	75
1) Response to sulfonylurea herbicides	75
2) Noncompetitive productivity between SU-resistant and susceptible biotypes	77
(1) Seed germination	77
(2) Growth characteristics between resistant and susceptible biotypes in non-competitive conditions	79
(3) Rice growth and yield as affected by SU-resistant weeds	87
4. Conclusion	89
Section 4. Growth and yield of rice as affected by competitive period and density of resistant <i>Monochoria vaginalis</i> biotype to sulfonylurea herbicides	91
1. Introduction	91
2. Materials and methods	92
1) Growth response of SU-resistant and susceptible biotypes of <i>M. vaginalis</i>	92
2) Growth and yield of rice as affected by competitive duration of resistant <i>M. vaginalis</i> under different cultural methods	93
3) Rice growth as affected by competitive density of resistant <i>M. vaginalis</i> in direct-seeded rice culture	93
3. Results and discussion	93
1) Growth response of SU-resistant and susceptible biotypes of <i>M. vaginalis</i>	94
2) Occurring density and growth characteristics of resistant <i>M. vaginalis</i>	94

3) Growth and yield of rice as affected by competitive duration of resistant <i>M. vaginalis</i>	96
4) Rice growth as affected by competitive density of resistant <i>M. vaginalis</i> in direct-seeded rice culture	100
4. Conclusion	101
Section 5. Sulfonylurea herbicide-resistant <i>Monochoria vaginalis</i> in Korean rice culture	103
1. Introduction	103
2. Materials and methods	104
1) Plant materials	104
2) Response to ALS inhibitor herbicides	104
3) Response to non-ALS inhibitor herbicides	105
4) Response to sulfonylurea herbicide-based mixtures	105
5) Herbicide screen for control of SU-resistant <i>M. vaginalis</i> in paddy fields	106
6) Rice yield as affected by SU-resistant <i>M. vaginalis</i>	106
7) <i>In vitro</i> ALS assay	107
8) <i>In vivo</i> ALS assay	107
3. Results and discussion	107
1) Confirmation of resistance	107
2) Cross- and multiple resistance of <i>M. vaginalis</i>	108
3) Response to sulfonylurea herbicide-based mixtures	111
4) Herbicide screen for control of SU-resistant <i>M. vaginalis</i> in paddy fields	111
5) Rice yield as affected by SU-resistant <i>M. vaginalis</i>	115
6) ALS inhibition	116
4. Conclusion	125
Section 6. Control of sulfonylurea herbicide-resistant <i>Lindernia dubia</i> (L.)	

Pennell var. <i>dubia</i> in Korean rice culture	126
1. Introduction	126
2. Materials and methods	126
1) Plant materials	126
2) Response to SU herbicides	126
3) Rice yield as affected by SU-resistant <i>L. dubia</i>	127
4) Control of resistant <i>L. dubia</i> by non-ALS inhibitor herbicides	127
5) Control of resistant <i>L. dubia</i> by SU herbicide-based mixtures	127
6) Herbicide screen for control of SU-resistant <i>L. dubia</i> in paddy fields	128
7) <i>In vitro</i> ALS assay	128
3. Results and discussion	128
1) Confirmation of resistance	128
2) Rice yield as affected by SU-resistant <i>L. dubia</i>	130
3) Control of resistant <i>L. dubia</i> by SU herbicides and non-ALS inhibitor herbicides	132
4) Herbicide screen for control of SU-resistant <i>L. dubia</i> in paddy fields	133
5) ALS inhibition	137
4. Conclusion	139
Section 7. Cross-resistance pattern and alternative herbicides for <i>Rotala indica</i> resistant to imazosulfuron in Korea	141
1. Introduction	141
2. Materials and methods	141
1) Plant materials	141
2) Response to ALS inhibitor herbicides	141
3) Response to non-ALS inhibitor herbicides	142
4) Response to SU herbicide-based mixtures	142

5) Herbicide screen for control of SU-resistant <i>R. indica</i>	143
6) <i>In vivo</i> ALS assay	143
3. Results and discussion	143
1) Response to ALS inhibitor herbicides	143
2) Response to other herbicides	146
3) Response to SU herbicide-based mixtures	146
4) Herbicide screen for control of SU-resistant <i>R. indica</i>	148
5) ALS inhibition	152
4. Conclusion	154
Section 8. Cross-resistance pattern and alternative herbicides for <i>Cyperus</i> <i>difformis</i> resistant to sulfonylurea herbicides in Korea	155
1. Introduction	155
2. Materials and methods	155
1) Plant materials	155
2) Response to ALS inhibitor herbicides	155
3) Response to non-ALS inhibitor herbicides	156
4) Response to SU herbicide-based mixtures	156
5) <i>In vitro</i> ALS assay	156
6) <i>In vivo</i> ALS assay	156
3. Results and discussion	156
1) Resistance to ALS inhibitor herbicides	156
2) Response to other herbicides with different modes of action	160
3) Response to SU herbicide-based mixtures	161
4) ALS inhibition	165
4. Conclusion	168
Section 9. Sulfonylurea herbicide-resistant <i>Scirpus juncooides</i> Roxb. in Korean rice culture	169
1. Introduction	169

2. Materials and methods	169
1) Plant materials	169
2) Response to ALS inhibitor herbicides	169
3) Response to ALS inhibitor herbicides and SU herbicide-based mixtures	170
4) <i>In vitro</i> ALS assay	170
3. Results and discussion	170
1) Confirmation of resistance	170
2) Cross-resistance of SU-resistant <i>S. juncooides</i>	171
3) Control of SU-resistant <i>S. juncooides</i>	173
4) ALS inhibition	173
4. Conclusion	176
Chapter 4. Achievements and contribution of the studies to the related fields	178
Section 1. Objectives of the research	178
Section 2. Yearly objectives of the research	179
Section 3. Standpoints of evaluation and accomplishment of the research	182
Chapter 5. Plans for the application of the research	183
Section 1. Necessities for further research	183
Section 2. Applications to other studies	183
Section 3. Research results	184
Chapter 6. References	188

목 차

요 약 문	2
목 차	28
제 1 장 연구개발과제의 개요	35
제1절 연구개발의 목적 및 필요성	35
1. 연구목적	35
2. 연구필요성	35
가. 기술적 측면	35
나. 경제·산업적 측면	36
다. 사회·문화적 측면	36
제2절 연구개발 범위	37
제 2 장 국내의 기술개발 현황	38
제1절 국내의 연구동향	38
제2절 연구결과가 국내의 기술개발현황에서 차지하는 위치	43
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	44
제1절 전남지역 수도권과 지대 간존잡초의 Sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 반 응	44
1. 서론	44
2. 재료 및 방법	45
가. 설문조사 방법 및 내용	45
나. 논 토양 채취 및 저항성 평가	45
3. 결과 및 고찰	46
가. 사용제초제 및 잔존 잡초종	46
나. 저항성 평가	50

4. 결과요약	55
제2절 Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비의 간이 진단법	56
1. 서론	56
2. 재료 및 방법	57
가. 종자수집	57
나. Whole-plant 반응	57
다. 종자발아 검정	58
라. Leaf bioassay	58
마. <i>In vitro</i> ALS 분석	59
바. <i>In vivo</i> ALS 분석	60
3. 결과 및 고찰	61
가. Whole-plant 반응	61
나. 종자발아 검정	63
다. Leaf bioassay	63
라. <i>In vitro</i> ALS 활성	65
마. <i>In vivo</i> ALS 활성	68
4. 결과요약	70
제3절 Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 잡초종의 생장특성과 저항성 잡 초종에 의한 벼 수량감소	72
1. 서론	72
2. 재료 및 방법	73
가. 초종별 생태형간 sulfonylurea계 제초제 반응	73
나. Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 생태형간 생육반응 차이	73
1) 식물재료	73
2) 발아율	73
3) 비 경합조건하에서 초종별 생태형간 생육특성 및 종자 생산량	74
4) 생태형간 광합성량	74
5) 초종별 저항성 생태형에 의한 벼 생육 및 수량	74

3. 결과 및 고찰	75
가. 초종별 생태형간 sulfonylurea계 제초제 반응	75
나. Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 생태형간 생육반응 차이	77
1) 발아율	77
2) 비 경합조건하에서 초종별 생태형간 생육특성	79
5) 초종별 저항성 생태형에 의한 비 생육 및 수량	87
4. 결과요약	89
제4절 Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비 생태형의 경합기간 및 밀도별 비의 생장 및 수량	91
1. 서론	91
2. 재료 및 방법	92
가. Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 물달개비 생태형간의 생장량 반응	92
나. 재배양식별 경합기간에 따른 비 생육 및 수량	93
다. 담수직파재배에서 물달개비 발생밀도별 비 생육	93
3. 결과 및 고찰	93
가. Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 물달개비 생태형간의 생장량 반응	93
나. Sulfonylurea계 저항성 물달개비의 발생밀도 및 생육특성	94
다. 저항성 물달개비 경합기간별 비 생육 및 수량에 미치는 영향	96
라. 담수직파재배에서 물달개비 발생밀도별 비 생육	100
4. 결과요약	101
제5절 한국 비 재배지에서 Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비 방제법과 저항 성 기작	103
1. 서론	103
2. 재료 및 방법	104
가. 식물재료	104
나. ALS 저해제 제초제에 대한 반응	104

다. 비 ALS 저해제 제조제에 대한 반응	105
라. SU계 혼합제에 대한 반응	105
마. 포장에서 SU계 저항성 물달개비 방제 가능 제조제 선발	106
바. SU계 제조제 저항성 물달개비에 의한 벼의 수량	106
사. <i>In vitro</i> ALS 분석	107
아. <i>In vivo</i> ALS 분석	107
3. 결과 및 고찰	107
가. 저항성 확인	107
나. 물달개비의 교차 및 다중저항성	108
다. SU계 혼합제에 대한 반응	111
라. 포장에서 SU계 저항성 물달개비 방제 가능성 제조제 선발	111
마. 포장에서 저항성 물달개비에 의한 수량반응	115
바. ALS 억제	116
4. 결과요약	125
제6절 논에서 Sulfonylurea계 제조제 저항성 미국외풀 방제법 및 저항성 기작 ...	126
1. 서론	126
2. 재료 및 방법	126
가. 식물재료	126
나. SU계 제조제 반응	126
다. SU계 저항성 미국외풀에 의한 벼 수량	127
라. 비 ALS 저해제 제조제에 의한 저항성 미국외풀 방제	127
마. SU계 제조제 혼합제에 의한 저항성 미국외풀 방제	127
바. 포장에서 SU계 저항성 미국외풀 방제 가능 제조제 선발	128
사. <i>In vitro</i> ALS 분석	128
3. 결과 및 고찰	128
가. 저항성 확인	128
나. SU계 저항성 미국외풀에 의한 벼 수량	130
다. SU계 및 비 SU계 혼합제에 의한 저항성 미국외풀 방제	132

라. 포장에서 SU계 저항성 미국외플 방제 가능성 제초제 선발	133
마. ALS 억제	137
4. 결과요약	139
제7절 Imazosulfuron에 저항성 마디꽃의 교차저항성과 효과적인 방제 가능 제초 제 선발	141
1. 서론	141
2. 재료 및 방법	141
가. 식물재료	141
나. ALS 저해제 제초제에 반응	141
다. 비 ALS 저해제 제초제에 대한 반응	142
라. SU계 혼합제에 대한 반응	142
마. 포장에서 SU계 저항성 마디꽃 방제 가능 제초제 선발	143
바. <i>In vivo</i> ALS 분석	143
3. 결과 및 고찰	143
가. ALS 저해제 제초제에 대한 반응	143
나. 다른 제초제에 대한 반응	146
다. SU계 혼합제에 대한 반응	146
라. 포장에서 SU계 저항성 마디꽃 방제 가능성 제초제 선발	148
마. ALS 억제	152
4. 결과요약	154
제8절 SU계 제초제 저항성 알방동사니에 대한 교차저항성과 방제 가능 제 초제 선발	155
1. 서론	155
2. 재료 및 방법	155
가. 식물재료	155
나. ALS 저해제 제초제에 대한 반응	155
다. 비 ALS 저해제 제초제에 대한 반응	156
라. SU계 혼합제에 대한 반응	156

마. <i>In vitro</i> ALS 분석	156
바. <i>In vivo</i> ALS 분석	156
3. 결과 및 고찰	156
가. ALS 저해제 제조제에 대한 저항성	156
나. 작용기작이 다른 제조제에 대한 반응	160
다. SU계 제조제 혼합제에 대한 반응	161
라. ALS 억제	165
4. 결과요약	168
제9절 SU계 저항성 올챙고랭이 방제법 및 저항성 기구	169
1. 서론	169
2. 재료 및 방법	169
가. 식물재료	169
나. ALS 저해제 제조제에 대한 반응	169
다. 비 ALS 저해제 제조제 및 SU계 혼합제에 대한 반응	170
라. <i>In vitro</i> ALS 분석	170
3. 결과 및 고찰	170
가. 저항성 확인	170
나. SU계 저항성 올챙고랭이 교차저항성	171
다. SU계 저항성 올챙고랭이 방제	173
라. ALS 억제	173
4. 결과요약	176
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	178
제1절 연구개발 목표와 내용	178
제2절 연차별 연구개발 목표와 내용	179
제3절 연구평가의 착안점 및 달성도	182
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	183
제1절 추가연구의 필요성	183

제2절 활용계획	183
제3절 본 연구과제를 통해 얻어진 연구실적	184
제 6 장 참고문헌	188

제 1 장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구목적

우리나라에서는 제초제 저항성 잡초의 출현과 합리적인 방제체계 및 저항성 잡초에 대한 기초적인 연구가 적은 실정이므로 앞으로 필연적으로 농가 포장에서 야기될 저항성 잡초의 문제집과 방제대책을 수립하기 위하여 이 연구를 수행하였다. 구체적으로 본 연구는 SU계 제초제 저항성 잡초발생 현황을 조사하고, 저항성으로 의심된 잡초종을 수집하여 저항성 유무를 확인하였으며, 저항성 잡초종을 가장 간편하게 진단할 수 있는 간이진단법을 개발하는데 있다. 또한 본 연구를 통해 저항성으로 확인된 물달개비, 미국외꽃, 마디꽃, 알방동사니와 올챙고랭이 등의 초종을 대상으로 whole plant 수준에서 ALS 저해제에 대한 교차저항성 유무를 확인하고, 비 SU계 제초제에 대한 다중저항성 유무를 확인하였다. 이들 자료를 근거로 하여 SU계 제초제 저항성 잡초에 대한 방제 체계를 확립하는데 있다. 아울러 SU계 저항성 및 감수성 생태형의 번식능력, 생장 및 경합 능력차이 그리고 저항성 생태형으로 인한 벼의 수량 감소 등을 조사하였다. 이들 저항성 초종에 대한 저항성 기구에 관한 연구도 병행하였다. 본 연구의 최종 목표는 논에서 발생하는 SU계 저항성 잡초종을 효과적으로 방제할 수 있는 제초제를 선발하는데 있다.

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

국내에서는 몇 해전만해도 제초제 저항성 잡초발생이 아주 적었거나 없었기 때문에 저항성 잡초에 관한 연구가 아주 미흡한 실정이었다. 따라서 저항성 잡초종이 발생시 이들 잡초를 방제할 수 있는 대체 약제가 개발되어 있지 않을 뿐만 아니라, 현재까지는 이에 관한 어떠한 기술적으로 이용될 수 있는 정보를 소장하고 있지 않다. 그러나 미국 등지에서는 제초제 저항성 잡초에 관한 연구가 활발히 진행되고 있어 문제 저항

성 잡초를 방제할 수 있는 대체 제초제 개발의 기술을 농업에 응용할 수 있고, 또한 많은 연구자들은 제초제 저항성 잡초가 출현한 포장에서는 작물 윤작을 권장하고 혼합제 처리 또는 단계의 체계처리, 경운 및 물관리 등 방법을 제시하여 농산물 생산성을 증대할 수 있는 방향성을 제시하고 있다. 그러나 이들 국가에서 발생한 잡초종과 제베법은 우리나라와 상이하므로 한국에 적합한 제초제 저항성 잡초방제 전략을 수립하여야 할 것으로 보인다.

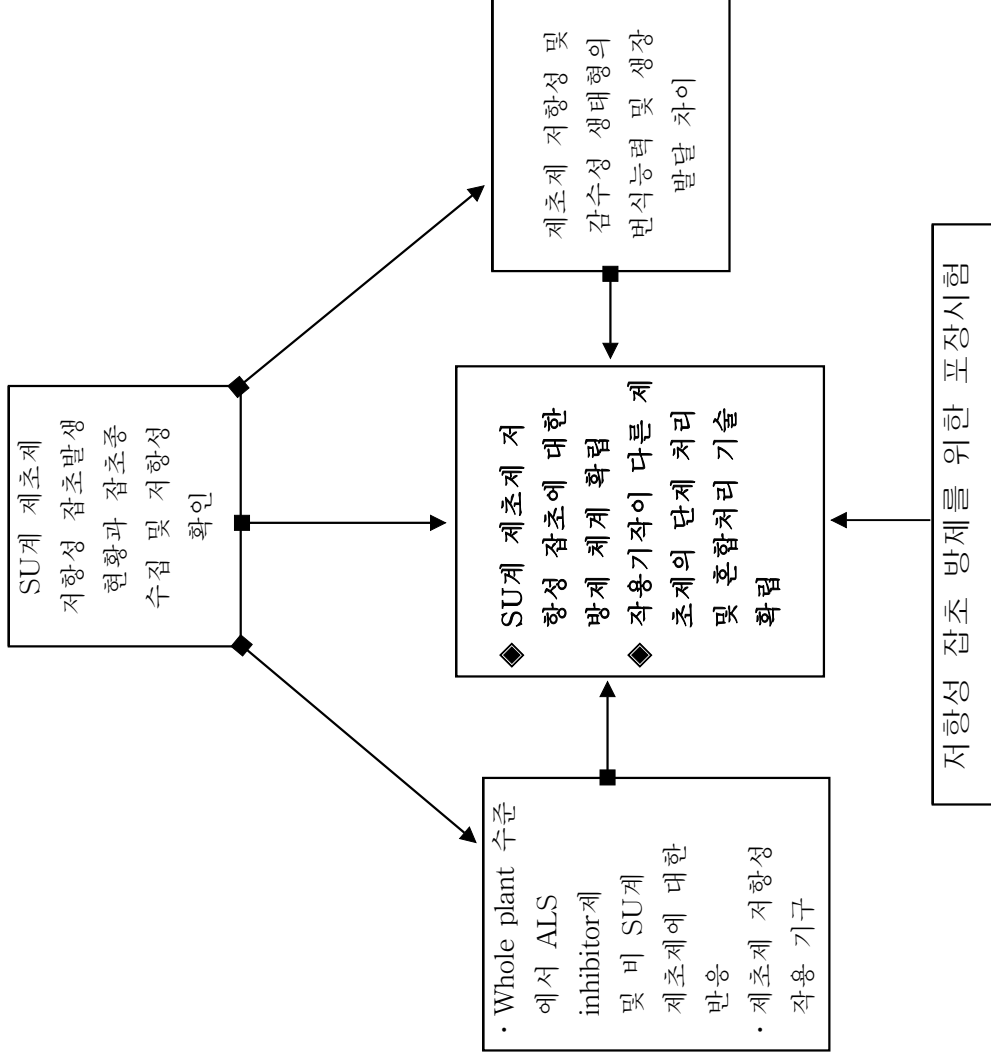
나. 경제·산업적 측면

제초제는 잡초의 효율적인 방제를 위하여 사용되는 가장 중요한 도구이다. 현재 많은 제초제들이 개발되어 소개되고 있지만 보다 경제적이며 효율적인 잡초방제를 통한 농산물의 생산증대와 농업환경보호를 위해서 많은 연구가 지속적으로 필요한 실정이다. 그러나 통일제초제 및 동일한 작용기작을 가진 제초제를 매년 동일포장에 사용하면으로써 제초제 저항성 잡초가 출현하였다. 이로 인하여 농민 및 농약회사의 경제적 사회적 손실을 수반하며, 농산물의 국제 경쟁력을 상실케 한다.

다. 사회·문화적 측면

우리나라 농민들에게 제초제 저항성 잡초의 이해관계를 증대시킬 수 있으며, 제초제의 효율적인 사용 체계법을 제시하여 약제의 사용량 감소와 효과적인 방제에 공헌함으로써 환경보전형의 지속적 농업에 공헌할 수 있다.

제2절 연구개발 범위



제 2 장 국내외 기술 개발 현황

제1절 국내외 연구동향

현재 사용 중인 제초제는 농경지 및 비 농경지에 발생하는 잡초의 효율적인 방제로 작물을 보호하기 위하여 사용되는 필수 불가결한 농업자재 중의 하나이다. 그러나 동일 작용기작을 가진 제초제를 매년 같은 포장에 계속하여 사용함으로써 특정 잡초종으로의 친이와 함께 특정계통의 제초제에 대한 저항성 잡초종의 출현을 야기시키고 있다.

이러한 제초제 저항성은 1968년 Ryan에 의하여 simazine에 저항성인 개쑥갓 (*Senecio vulgaris* L.)이 미국 워싱턴주에서 최초로 보고된 이래, 운작과 제초제 혼합 사용이 보편화되지 않은 옥수수 단작재배 지역으로 넓게 전파되었다.

최근에는 여러 유형의 제초제에 대한 저항성 잡초가 세계적으로 출현하고 있으며, 이러한 현상은 농업위원회(농민, 농약회사, 연구자 등)에 많은 관심과 우려를 야기시키고 있다.

제초제 저항성 잡초에 대한 국제적인 조사결과(1999년)에 의하면 세계적으로 233여 종의 제초제 저항성 잡초가 출현·보고되었다. 그 중 sulfonyleurea계(cholorsulfuron, bensulfuron methyl 등)가 주종을 이루고 있는 acetolactate synthase(ALS)저해형 제초제에 대하여 63개 초종으로 가장 많은 저항성 잡초종(63종)이 출현하였다(표 1).

한국에서도 1970년 이후 농경지 발생 잡초방제를 중심으로 하는 많은 제초제를 사용해 오고 있지만, 최근까지 제초제 저항성 잡초종 출현에 관한 공식적인 보고는 없었으나 잡초종의 우점종 변화는 사용 제초제의 종류에 따라 다양하게 나타나고 있다.

우리나라의 경우, 제초제가 사용되기 이전인 1960년대의 우점 잡초종은 일년생 피(*Echinochloa crus-galli*)와 물타개비(*Monochoria vaginalis*)였다. 1960년대 중반에서 1980년대에는 일년생 잡초방제를 위해 주로 chloroacetamides, thiocarbamates, diphenyl ethers와 phenoxy계 등의 단제 사용이 계속된 후, 다년생 잡초종이 증가하여, 그 비율이 우점종의 54%를 차지하였다.

표 1. Herbicide resistant weeds.

Herbicide group	WSSA code	HRAC code	Example	Dicots	Monocots	Total
ALS inhibitors	2	B	Chlorsulfuron	43	20	63
Triazines and others	5	C1	Atrazine	42	19	61
Bipyridiliums	22	D	Paraquat	18	7	25
ACCase inhibitors	1	A	Diclofop-methyl	0	21	21
Synthetic auxins	4	O	2,4-D	15	4	19
Ureas and amides	7	C2	Chlorotoluron	6	11	17
Dinitroanilines and others	3	K1	Trifluralin	2	7	9
Triazoles	11	F3	Amitrole	1	3	4
Chloroacetamides and others	15	K3	Metolochlor	0	3	3
Thiocarbamates and others	8	N	Triallate	0	3	3
Glycines	9	G	Glyphosate	0	2	2
Benzofurans	16	N	Ethofumesate	0	1	1
Chloro-carbonic acids	26	N	Dalapon	0	1	1
Nitriles and others	6	C3	Bromoxynil	1	0	1
Organoarsenicals	17	Z	MSMA	1	0	1
Pyrazoliums	8	Z	Difenzoquat	0	1	1
Unknown	25	Z	Flamprop-methyl	0	1	1
			Totals	129	104	233

1980년대부터 현재까지는 단계 제초제 사용이 감소하고, 다년생 잡초종의 방제를 위해 합제 제초제 사용이 증가하였다.

1990년대의 우점 잡초종은 다년생이 60%를 차지하였다. 이들 다년생의 예로는 벼풀 (*Sagittaria trifolia*), 올미(*Sagittaria pygmaea*), 올방개(*Eleocharis kuroguwai*), 가래 (*Potamogeton distinctus* A. Bennett), 올챙이고랭이(*Scirpus juncooides*), 너도방동사니(*Cyperus serotinus*)와 일년생인 마디꽃(*Rotala indica* (Willd.) Koehne) 및 피 (*Echinochloa crus-galli*) 등이다.

일본도 한국과 유사하게 다년생인 올방개와 벼풀은 다른 종에 비해 우점종인데, 이

리한 이유는 발생전 또는 초기 처리제를 사용하였을 때 이 시기에 이들 잡초가 발아하지 않고 중후기에 지속적으로 발생되기 때문에 방제가 어렵다. 흥미롭게도 일년생 잡초 방제를 위해 제초제 처리 사용이 증가하였음에도 불구하고 피와 물달개비는 여전히 우점종이다(Kim 1994).

1980년대 후반과 1990년대 초에 저약량 고효성인 sulfonylurea계 제초제가 한국에 소개된 이래 sulfonylurea계 제초제를 중심으로 한 혼합제의 사용이 급격히 증가하였다(전체 비제배면적의 79% 사용, 1991년). 이중 sulfonylurea(SU)계의 가장 대표적인 제초제로는 bensulfuron-methyl과 pyrazosulfuron-ethyl이다.

수도작에서 잡초방제를 위해 sulfonylurea가 주로 사용되면서 ALS 저해형 제초제 저항성 잡초 *Alisma plantago-aquatica* L.가 포르투갈에서 *Damnasonium minus*는 오스트레일리아에서 그리고 *Sagittaria montevidensis*와 알방동사니(*Cyperus difformis* L.)는 미국과 오스트레일리아에서 출현하였다. 한편 우리나라의 재배유형과 사용제초제 등이 유사한 일본에서는 sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초 물옥잠(*Monochoria korsakowii*)이 1996년 Hokkaido에서 처음으로 보고되었다(Kohara et al. 1996). 이 지역에서 수집된 물옥잠은 bensulfuron-methyl, pyrazosulfuron-ethyl과 imazosulfuron에 대해 추천량의 4배에서도 방제되지 않았다.

그 후 계속하여 일본에서는 sulfonylurea계 제초제(bensulfuron-methyl, pyrazosulfuron-ethyl, imazosulfuron, ethoxysulfuron)에 저항성인 외풀(*Lindernia micrantha* D. Don)이 수도작포장에서 발견되었다(Itoh et al. 1999). 이 생태형은 3~7년 동안 계속하여 sulfonylurea계 제초제를 처리한 포장에서 출현하였다. 이 저항성 생태형은 이들 4가지 제초제에 대하여 감수성 생태형보다 약 80~300배의 저항성을 보였다. 그러나 이들 저항성 생태형은 다른 작용기작을 보이는 제초제(pretilachlor, cafenstrole, bifenox, naproamide 등)에 의해 방제되었다.

1998년 4월 이후에 sulfonylurea계 제초제 저항성 생태형은 일본에서 5과 7종이 보고되었다. 이들 생태형은 sulfonylurea계가 함유된 제초제를 여러 해 동안 처리한 논에서 발생하였다(Itoh et al. 1997).

2000명의 California 수도재배자 중 4명은 bensulfuron-methyl을 사용하지 3년째에 이 제초제에 저항성을 보이는 *Sagittaria montevidensis*과 알방동사니를 보고하였다

(Pappas- Fader et al. 1993, 1994). 저항성 *Sagittaria*의 I₅₀은 600배 그리고 *Cyperus*의 I₅₀은 30-300배 정도로 감수성 생태형에 비해 저항성을 보였다. 이듬해에 100농가에서 이들 두 잡초종과 그리고 *Scirpus mucronatus* L.와 *Ammannia coccinea* Rottb.를 저항성으로 보고하였다.

유사하게 오스트레일리아에서 bensulfuron-methyl을 3-6년 계속 사용한 수도포장에 이 제초제에 저항성을 보이는 잡초가 발생되었다. 1993년 표준량의 2-4배에 알방동사니의 저항성 생태형이 후속적으로 확인되었다(Grham et al. 1994).

근래 한국에서도 수도용 제초제로 sulfonyleurea계 제초제가 보급된 이후 약 7년 연속하여 같은 계통의 제초제를 사용한 전남 농업기술원내 포장에서 이 제초제에 대한 저항성 풀달개비가 보고되었다(권 등 1999). 또한, 재배와 관리면에서 조방적인 서해안 서산간척지에서는 sulfonyleurea계 제초제 저항성 물옥잠이 출현하여 그 방제의 심각성을 더해가고 있다(박 등 1999).

ALS 저해형 제초제는 콩, 옥수수, 목화, 밀에 사용하기위해 1982년 미국에서 처음으로 상품화된 이후, 현재는 25종 이상의 ALS 저해형 제초제가 작물에 잡초방제를 위해 사용되고 있다. ALS를 억제하는 제초제의 주요 화합물계는 sulfonyleureas, imidazolinones, triazolopyrimidine sulfonailides 및 pyrimidinyl thiobenzoates이다. 이들 제초제들은 분지아미노산 valine, leucine 그리고 isoleucine의 생합성과경에서 첫 번째로 작용을 촉매하는 ALS의 활성저해에 의해 작용한다. 이들 아미노산은 식물의 생장과 발달을 위해 필수적이므로 이들의 합성을 억제함으로써 많은 식물을 죽게 한다. 이들 제초제들은 소량으로도 광엽 및 화본과 잡초를 방제할 수 있고 우수한 작물의 선택성을 가지고 있으며, 저독성을 가지고 있기 때문에 많이 사용되고 있다. 더욱이 이들 제초제의 대부분은 기존의 발생 후 처리 제초제가 갖지 못한 잔류활성을 가지고 있다.

미국에서는 ALS 억제형 제초제가 소개된 5년 후에 이 제초제에 대한 저항성 잡초 prickly lettuce(*Lactuca serriola* L.)와 kochia(*Kochia scoparia*)가 Idaho와 Kansas에서 각각 확인되었다. 이러한 잡초들의 저항성 기작은 제초제에 ALS 효소의 줄어드는 sensitivity이다. 마찬가지로 primisulfuron에 저항성 shattercane(*Sorghum bicolor*)은 primisulfuron에 효소 민감성이 줄어든 변형된 ALS에 기인되었다. 그러나

primisulfuron에 저항성과 감수성 shattercane은 흡수, 이행, 대사, total 단백질수준 및 ALS specific 활성간에 차이는 적어서, 식물체 수준에서 높은 저항성을 설명할 수 없었다.

또 다른 기작은 annual ryegrass(*Lolium rigidum* Gaud.)와 blackgrass(*Alopecurus myosuroides* Huds.)의 개체내에서 ALS 억제형 제초제에 교차저항성이 보고되었다. 이들 저항성 개체들은 감수성에 비해 ALS 제초제를 빨리 해독할 수 있었다.

저항성 잡초개체들은 종종 동일 계통의 제초제에 교차저항성이 있고, 그리고 다른 ALS 억제 제초제들에 대한 교차저항성의 다양한 pattern이 전개되었다. 식물체나 호소활성에서 확인된 chlorimuron 저항성 *Amaranthus*(비름류) 생태형은 sulfonylureas계 primisulfuron과 halosulfuron 그리고 imidazolinone계인 imazethapyr에 교차저항성을 보였다. 이들 교차저항성 유형은 Lovell et al. (1996)과 Hinz et al.(1997)에 의해 보고된 두 imazethapyr에 저항성 *Amaranthus*의 생태형과 유사하였다. Mallory-Simth et al.(1990)은 *Lactuca serriola*의 생태형은 8개 sulfonylurea계와 두 imidazolinones계에 대해서 교차저항성을 보였다고 보고하였다. Primiani et al.(1990)은 *Kochin scoparia* 생태형에서 6개 sulfonylurea와 하나의 imidazolinone에 교차저항성이 있음을 보고하였다. 반면에 chlorsulfuron 저항성 *Kochin scoparia* 생태형이 imazethapyr에 교차저항성이 낮거나 없다고 보고하였다(Guttieri et al. (1995)).

Triazine 저항성과 감수성 잡초 생태형간에 경합, 생장 그리고 생태적인 연구에서 triazine 저항성 잡초 생태형은 종종 식물에서 부정적인 생리 결과를 보였다. 예를 들면, 감수성 생태형은 비경합적인 환경과 다른 생장 온도하에서 저항성 생태형에 비해 64% 이상의 생장량을 보였다. 왜냐하면 많은 triazine 저항성 생태형은 감수 생태형보다 적응성이 작기 때문이다. 이러한 현상은 다른 부류의 제초제 저항성 생태형에서도 같은 경향을 보였다. ALS 억제형 제초제들에 감수성과 저항성에서는 식물의 적응성은 차이가 없었다. 즉, sulfonylurea계 제초제에 저항성 아미의 수량과 품종은 표준 품종들에 비해 차이가 없었다. Imidazolinone계 제초제에 저항성 canola의 종자의 수량, 성숙도 및 질병에서는 감수성 생태형과 유사하였다. 유사하게, sulfonylurea계와 imidazolinone계 저항성 옥수수 mutant의 유묘 생장량은 감수성 생태형과 유사하였다. Callus 배양에서 sulfonylurea 제초제 저항성과 감수성 담배 cell에서는 차이가 없었다.

그러나 일부 제초제 저항성 생태형은 감수성 생태형에 비해 생장 및 경합능력이 우수하다는 보고가 있다. 따라서, sulfonyleurea 제초제 저항성 및 감수성 생태형의 감초간에 적응성의 연구가 병행되어야 하며, 측정할 수 있는 parameter는 종자 발아, 생장 그리고 경합, 종자 생산, 토양에 종자 수명 등이다.

제2절 연구결과가 국내외 기술개발현황에서 차지하는 위치

제초제 저항성 잡초 출현과 그 방제법에 관한 국내 연구는 아주 적은 실정이지만, 일부 연구소와 대학에서는 이제 관심을 갖고 있으며, 최근에 들어 sulfonyleurea 제초제를 수년 동안 사용한 일부 농가에서 방제가 어려운 물탈게비와 물옥잠을 발견하고, 농촌진흥청을 중심으로 이들 제초제에 대한 저항성 확인을 위한 연구를 하고 있다.

본 연구에서는 sulfonyleurea계의 작용점 등의 기초적인 연구 결과를 바탕으로 저항성 잡초의 효과적인 방제대책을 강구하려는 의도가 특징적이다.

국외에는 제초제 저항성 잡초종이 미국의 Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) 조사 (1999) 자료에 의하면 현재까지 233종이 보고되어 있으며 제초제 저항성 잡초방제를 위한 체계적으로 연구를 위하여 많은 예산을 투자하여 그 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 연구를 통해 제초제 저항성 잡초방제를 위한 전략을 제시하고 있다. 그러나 이런 국외의 연구자료를 국내의 제초제 저항성 잡초 방제에 직접적인 응용이 어렵다. 왜냐하면 국가별로 사용된 제초제가 다르므로 이에 따라 저항성 잡초의 종류가 다르고 재배양식 등이 다르기 때문에 한국 상황에 맞는 제초제 저항성 잡초방제법 개발이 시급하다.

본 연구는 제초제 저항성 잡초의 방제를 위한 새로운 방제법 개발과 대체 제초제 사용 가능 모식도를 제시하였다. 아울러 농민들에게 제초제 저항성 잡초발생시 문제의 심각성을 야기하여 제초제 저항성을 막기 위한 농법을 제시할 것으로 전망된다. 그리고 제초제의 저항성 작용기작이 학계에 중요한 연구자료로 이용될 전망이다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 전남지역 수도작 시대 잔존잡초의 Sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 반응

1. 서론

우리나라 수도작 시대의 제초제 사용 의존도는 대단히 높은 편으로 단제보다는 일년생과 다년생 잡초를 동시에 방제할 수 있는 혼합제 형태가 선호·판매되고 있다(농약연보 2001; 농약사용지침서 2000). 논 제초제의 경우, 효과가 우수한 sulfonylurea계 제초제가 혼합제의 주체를 이루고 있으며 이러한 제초제의 사용비율이 수년동안 지속됨에 따라 우리 나라에서도 중서부 간척지에서 sulfonylurea계 제초제 저항성 물육잡 (*Monochoria kosakowii* Regel & Maack)이 최초로 출현하게 되었다(Park 등 1999). 또한 전남지역에서는 물달개비(*Monochoria vaginalis* Presl) (Kwon 등 2000), 미국외 풀(*Lindernia dubia* Pennell var. *dubia*) (박 등 2001), 마디꽃(*Rotala indica* Koehne) (Kuk 등 2002) 등이 sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초로 보고되었다. 이러한 sulfonylurea계 저항성 잡초는 우리 나라와 수도재배양식이 유사한 일본에서도 발생되고 있다(Itoh 등 1997; Itoh 등 1998; Kohara 등 1998; Wang 등 1997; Wang 등 2000).

Sulfonylurea계, imidazolinone계, triazolopyrimidine sulfonamide계, sulfamoylurea계 및 pyrimidinyl thiobenzoate계 제초제는 분지아미노산 생합성과정의 첫 단계에 관여하는 효소인 acetoalctate synthase (ALS)를 저해함으로써 최종적으로는 생육억제 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다(Brown 1990; Ray 1984). 이중 sulfonylurea계 제초제는 저약량으로도 살초작용이 뛰어나며 벼에 선택성이 뚜렷하고 환경에도 안전한 제초제이나 벼 재배시 우점잡초인 피의 방제효과가 낮기 때문에 우리나라에서는 주로 혼합제로 사용되고 있으며 그 사용빈도는 논에 사용하는 제초제의 상당부분을

차지하고 있는 실정이다(농약연보 2001; 농약사용지침서 2000). 이처럼 sulfonylurea계 혼합제의 사용량이 많아지고 수년간 유사한 성질의 제초제 사용빈도가 증가함에 따라 sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초가 출현하는 것으로 알려져 있다(Itoh 등 1997; Kwon 등 2000). 따라서 이러한 저항성 잡초를 효율적으로 완전하게 방제하기 위해서는 적절한 방안이 요구된다.

따라서 본 연구는 전남지역 수도작 지대의 농민들을 대상으로 논에 잔존하는 잡초의 발생 실태를 파악하고 잔존 잡초가 있는 지역 및 일반 농가의 논 토양을 채취하여 은실조진에서 sulfonylurea계 제초제를 포함한 ALS 저해형 제초제의 반응차이를 알아보고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 설문조사 방법 및 내용

전남지역 주요 농가의 농민을 대상으로 수도작 재배양식, 제초제 사용현황, 잔존 잡초종 발생경향, 잔존잡초 방제관리, 잔존잡초 발견시대, 잔존 잡초로 인한 피해정도 등의 30개 항목에 관하여 실시하였으며 주요 내용만을 해석하였다. 실시지역과 인원은 광주광역시 광산구(8명), 고흥군(9명), 광양시(7명), 구례군(7명), 나주군(10명), 담양군(4명), 무안군(5명), 보성군(9명), 순천시(9명), 여수시(9명), 영암군(9명), 장성군(4명), 장흥군(9명), 해남(9명), 화순(6명) 등에서 15개 지역 114명이었다.

조사결과는 Window용 SPSS(Statistic Packages for Social Sciences) 프로그램을 이용하여 빈도와 백분율, 상관관계를 분석한 뒤 해석하였다.

나. 논 토양 채취 및 저항성 평가

지역별 잔존 잡초가 파악된 농가와 일반농가의 포장을 임의로 선정하여 논 토양을 채취하였다. 논 토양을 채취한 주요지역과 장소는 광주광역시 광산구(15개), 광주광역시 남구(8개), 광주광역시 북구(4개), 강진군(20개), 고흥군(3개), 광양시(7개), 구례군(12개), 나주시(23개), 담양군(4개), 무안군(1개), 보성군(13개), 순천시(12개), 여수시(7

개), 영암군(17개), 장흥군(13개), 해남군(25개), 화순군(17개)으로 총 17개 지역 201개 장소에서 채취하였다. 채취한 토양은 일년생 잡초종자가 들어 있는 5cm 이내의 표토를 채취하여 실내에서 음건하였다. 음건한 토양은 체(200mesh)로 거른 후 Wagner pot(1/5000a)에 벼 육묘용 상토를 충전한 표면 위에 채취한 토양 및 종자를 고르게 뿌렸다. 각 pot에 발생한 잡초가 2엽기가 되었을 때 imazosulfuron 표준량(75g ai/ha) 및 표준량의 배량(150 g ai/ha)을 처리하였다. 처리 후 20일에 제초효과를 달관평가하였고 생존 개체수를 감수성 생태형과 비교하여 저항성 유무를 확인하였다. 저항성 생태형은 imazosulfuron 표준량 및 배량 처리에서 30% 이하의 방제효과를 보였던 초종으로 선정하였다. 채취한 토양에서 발생한 잡초 중 가장 저항성을 보인 물달개비, 미국외풀, 발목외풀 및 마디꽃을 대상으로 위와 동일한 조건에서 ALS 저해형 제초제인 azimsulfuron, bensulfuron-methyl, cinosulfuron, cyclosulfamuron, imazosulfuron, LGC-42153 및 pyrazosulfuron-ethyl을 표준량 및 배량 처리하여 저항성 및 감수성 생태형간에 교차저항성을 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 사용 제초제 및 잔존 잡초종

설문조사를 실시한 15개 지역 114명의 농민은 주로 20대(16.7%), 30대(28.1%), 40대(28.1%) 및 50대(21.9%)로 구성되어 있었다. 논에서 사용하는 제초제명의 정확성을 기하기 위해 농가에서 사용하는 제초제의 상표명을 제시하여 이양 전이나 파종 전의 논에 처리하는 제초제를 조사한 결과, oxadiazon, butachlor 및 thiobencarb가 각각 14.9, 10.5 및 5.3%로서 조사대상자의 약 30%의 농가에서 파종전 또는 이양전에 제초제를 사용하고 있었다(Table 1). 한편 이양 후에 사용하는 제초제중에 butachlor, pyrazosulfuron-ethyl + molinate, bensulfuron-methyl + molinate, cinosulfuron + molinate, bensulfuron-methyl + butachlor 등이 각각 17.5, 15.8, 12.3, 10.5, 9.6% 순으로 사용되고 있었다(Table 1). 답수직파 재배 농가의 비율은 극히 낮았으나 파종 후에 bensulfuron-methyl + molinate(13.2%)와 pyrazosulfuron-ethyl + molinate(12.3%) 등

을 사용하고 있었다. 따라서 이앙 후 잡초방제를 위하여 사용되는 제초제로서는 butachlor, thiobencarb, pyrazolate를 제외한다면 많은 비율이 sulfonylurea 계통의 제초제를 주제로 하는 혼합제가 주를 이루고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 1. List of herbicides used in paddy fields, Jeonnam.

Herbicide (A)	Frequency (%)	Herbicide (B)	Frequency (%)
Butachlor	12(10.5)	Butachlor	20(17.5)
Oxadiazon	17(14.9)	Pyrazosulfuron-ethyl+molinat	18(15.8)
Thiobencarb	6(5.3)	Azimsulfuron+molinat	4(3.5)
Pretilachlor+simetryn	1(0.9)	Bensulfuron-methyl+molinat	14(12.3)
No use	51(44.7)	Cinosulfuron+molinat	12(10.5)
Other	27(23.7)	Halosulfuron-methyl+molinat	4(3.5)
		Thiobencarb	3(2.6)
		Pyrazolate	3(2.6)
		Bensulfuron-methyl+butachlor	11(9.6)
		Other	25(21.9)
Total	114(100)	Total	114(100)

* Herbicide (A), application before seeding or transplanting; herbicide (B), application after seeding or transplanting

조사대상 중 수도작 재배양식은 기계이앙재배만을 하는 경우가 대부분(65.8%)을 차지하고 있었으며 15% 정도가 기계이앙재배 및 직파재배(답수직파 또는 건답직파)를 겸하고 있었고 단지 답수직파 재배(8.8%)나 건답직파 재배(1.8%)만을 하는 경우는 일부에 지나지 않았다(Table 2).

따라서 전남지역의 기계이앙재배 비율은 약 80%로서 일본의 전국평균인 98%(미야하라와 이 2002)와 비교하여 직파재배 등의 다양한 재배양식이 실시되고 있는 것으로

사료되었다.

Table 2. The remaining weeds by cropping pattern of rice in paddy fields, Jeonnam.

Cropping pattern	Frequency(%)								
	ECCRU ^{a)}	MOVAG	SAPYG	ELKUR	CYS	ROIND	ANKET	Others	Total
Transplanting	15(13.2)	17(14.9)	3(2.6)	9(7.9)	10(8.8)	4(3.5)	1(0.9)	16(14.0)	75(65.8)
Wet-seeding	4(3.5)	6(5.3)	-	-	-	-	-	-	10(8.8)
Dry-seeding	2(1.8)	-	-	-	-	-	-	-	2(1.8)
Other	7(6.1)	4(3.5)	-	-	-	-	3(2.6)	13(11.4)	27(23.6)
Total	28(24.6)	27(23.7)	3(2.6)	9(7.9)	10(8.8)	4(3.5)	4(3.5)	19(25.4)	114(100.0)

^{a)}ECCRU, *Echinochloa crus-galli*; MOVAG, *Monochoria vaginalis*; SAPYG, *Sagittaria pygmaea*;

ELKUR, *Eleocharis kuroguwai*; CYS, *Cyperus* spp.; ROIND, *Rotala indica*; ANKET, *Aneilima keisak*

한편 논외의 주요 잔존잡초로서는 피(*Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola* Ohwi), 물달개비, 방동사니류(*Cyperus* spp.), 올방개(*Eleocharis kuroguwai* Ohwi) 등이 각각 24.6, 23.7, 8.8 및 7.9%로서 다른 초종에 비해 높은 비율을 보이는 것으로 나타났다 (Table 2). 한편 전남 일부지역에서 sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초로 문제시되고 있는 마디꽃, 외풀류 등의 잔존율이 낮게 나타났던 것은 이들이 비우점 잡초로서 벼에 가려 후기에 생육하는 생태적 특성으로 인하여 관찰대상에서 제외되었을 가능성도 배제할 수 없을 것으로 사료되므로 추후 이러한 비우점 잡초의 잔존 현황에 대한 관심 있는 관찰이 요망된다.

논외 잔존잡초 발생경향에 대해서는 예전과 비슷하다는 응답이 38.6%, 최근 증가한다는 응답은 20.2%, 감소한다는 응답은 14.9%로 나타나 현재까지 잔존잡초로 인한 피해는 심각하지 않은 것으로 판단되었다. 농가에서 동일한 제초제의 사용은 2년에서 3년이 각각 32.5%, 21.1%이었으며 매년 새로운 제초제를 처리하는 농가는 14%로 나타

나 전남지역 농가에서 사용되는 제초제는 3년 정도를 주기로 새롭게 바뀌고 있는 것으로 사료되었다. 이러한 현상에 대해서는 효과가 감소하기 때문이라는 응답이 58%로 가장 높았으나 동일 제초제 사용에 따른 잔존 잡초의 증감에는 크게 영향을 끼치지 않는 것으로 판단되었다(Table 3). 한편 잔존잡초의 제거에 대하여 많은 농가에서 손으로 제거(39.5%)하거나 제초제를 다시 처리한다(29.8%)고 응답하여 잔존 잡초 제거에 대한 노동력 및 비용 소요의 문제점이 드러났으며, 11.4%는 그대로 방치한다고 응답하였다. 잔존잡초의 주요 발생지역은 같은 논에서도 표면이 고르지 않고 지대가 높은 곳(36.0%)과 물이 항상 고여있는 곳(17.5%), 찬물이 나는 곳(14.0%), 물꼬 주변(12.3%) 순이었으며 잔존 잡초로 인한 피해정도는 보통(45.5%)이거나 적다(36.7%)는 응답이 주를 이루어 직접적인 피해는 심하지 않은 것으로 사료되었다.

Table 3. Change of the remaining weeds by used the same herbicide and treated herbicide amount in paddy fields, Jeonnam. (Frequency(%))

Factor	Increase	Similar	Decrease	No idea	Total
1 year	4(3.5)	7(6.1)	2(1.8)	3(2.6)	16(14.0)
2 year	6(5.3)	22(19.3)	6(5.3)	3(2.6)	37(32.5)
3 year	4(3.5)	11(9.6)	5(4.4)	4(3.5)	24(21.1)
4 year	5(4.4)	1(0.9)	-	-	6(5.3)
5 year	1(0.9)	3(2.6)	2(1.8)	2(1.8)	8(7.0)
6 year	3(2.6)	-	2(1.8)	18(15.8)	23(20.2)
Total	23(20.2)	44(38.6)	17(14.9)	30(26.3)	114(100.0)
Recommended rate	14(12.3)	16(14.0)	12(10.5)	8(7.0)	50(43.9)
Higher rate	8(7.0)	26(22.8)	3(2.6)	9(7.9)	46(40.4)
Lower rate	-	1(0.9)	-	1(0.9)	2(1.8)
Other	1(0.9)	1(0.9)	2(1.8)	12(10.5)	16(14.0)
Total	23(20.2)	44(38.6)	17(14.9)	30(26.3)	114(100.0)

논에 처리하는 제초제 처리량에 대해서는 43.9%가 추천량(표준량)을 지킨다고 하였

으며 40.4%가 추천량보다 많게 처리한다고 응답하였다. 그리고 추천량을 처리한다는 농민 중에 잔존잡초가 증가한다고 응답하는 경우가 12.3%이었으며 추천량보다 많은 양을 처리하고 있는 농민은 잔존잡초가 예년과 유사(22.8%)한 것으로 나타났다(표 3). 추천량보다 많게 처리하는 이유로서는 38.6%가 효과가 없을 것 같아서라고 응답하였으며 항상 처리해 오던 경험 때문이라는 비율은 10.5%로 나타나 잡초의 경제적인 허용수준을 고려하기보다는 눈을 잡초로부터 깨끗하게 유지하고자 하는 측면이 반영되어 농가에서는 관행적으로 많은 양을 처리하고 있는 것으로 사료되었다. 한편 다른 제조제로 바꾸고자 할 때의 이유에 대해서는 제조효과가 감소하기 때문이다(58.8%)라는 응답이 구입하기 어렵다(18.4%)거나 주위에서 바꾸기 때문(10.5%)이라는 응답보다 높게 나타났으며 바꿀 때는 본인의 결정(23.7%)이나 농약판매상의 권유(17.5%)에 따르기보다는 주로 전문가(45.6%)에게 상담한다는 응답이 높게 나타나 설문 대상자들의 대부분이 비교적 젊은 층에 속해 있으며 적극적인 영농방식을 택하고 있기 때문인 것으로 사료되었다.

나. 저항성 평가

전남의 17개 지역 201개 장소에서 채취한 토양에서 발생한 잡초종은 피, 물달개비, 발뚨외풀, 미국외풀, 마디꽃 등이었다. 발생한 잡초종 중 피는 sulfonylurea계 제초제 저항성 검정을 위해 포트에서 인위적으로 제거하였다. 201개 수집장소 중 imazosulfuron에 대하여 저항성을 나타낸 것은 74개 장소(37%)에서 4개 초종이 확인되었으며, 이중 물달개비 61개 장소, 미국외풀 8개 장소, 발뚨외풀 5개 장소 및 마디꽃 1개 장소에서 저항성으로 확인되었다(Table 4). 일부 지역의 논 토양에서는 두 초종 이상이 저항성으로 확인되었다. 즉, 광주광역시 광산구 평동에 김흥진씨 논토양과 전남 나주시 남평면 정숙자씨 논토양에서는 물달개비와 미국외풀이 저항성이었고, 전남 담양군 담양읍 성진리 논토양에서는 물달개비와 발뚨외풀이 저항성이었다. 또한, 전남 나주군 산포면 산제리 논 포장은 4초종(물달개비, 미국외풀, 발뚨외풀 및 마디꽃)이 저항성이었다. 저항성 물달개비는 영암군, 해남군, 나주시에서 주로 많이 발생하였고, 저항성 미국외풀은 8개 장소 중 5개 장소가 광주광역시 광산구 논 포장에서 발생하였다. 이와 같이 같은 농가의 포장에서 여러 종이 저항성 초종으로 확인된 것은

특정농가의 수도작 재배양식과 동일 체초제 연용에 따른 선발압의 작용으로 인한 결과로 추정된다. 더구나 수도작 위주의 영농형태가 유사한 일본에서는 동일한 농기계,

Table 4. Distribution of sulfonylurea resistant weeds in 201 paddy fields collected, Jeonnam.

Weed species	Collection site	Visual rate ^{a)}			No. of individual (0.02m ²)		
		Imazosulfuron(g ai/ha)					
		0	75	150	0	75	150
<i>Monochoria vaginalis</i>	Yonggokdong, Kwangsan, Kwangju(YS Kim)	0	10	10	80	79	77
	Pyeongdong, Kwangsan, Kwangju(DS Kim)	0	0	0	10	12	11
	Pyeongdong, Kwangsan, Kwangju(YH Kim)	0	0	30	40	100	35
	Pyeongdong, Kwangsan, Kwangju(HJ Kim)	0	0	0	15	15	15
	Yangkwadong, Namku, Kwangju	0	20	30	10	8	7
	Jangjeon, Kangjin, Jeonnam(GH Kim)	0	0	0	21	24	23
	Jangjeon, Kangjin, Jeonnam(JD Park)	0	20	30	35	36	37
	Ockjeon, Doam, Kangjin, Jeonnam(Mj Choi)	0	0	0	54	50	51
	Sungjeon, Kangjin, Jeonnam(KS Jeong)	0	0	0	49	51	48
	Shinjeon, Kangjin, Jeonnam(MJ Lee)	0	0	0	40	42	41
	Jackcheon, Kangjin, Jeonnam(BO Choi)	0	10	20	85	80	75
	Saegi's Farm, Gohung, Jeonnam(SG Kim)	0	0	0	7	7	7
	Dongil, Gohung, Jeonnam(SS Myong)	0	0	0	6	6	6
	Namsun, Gohung, Jeonnam(YH Seo)	0	0	0	5	5	5
	Jinweol, Kwangyang, Jeonnam(JH Park)	0	0	0	9	9	7
	Hungdae, Ganjeon, Gurea, Jeonnam	0	30	30	23	11	11
	Weonbang, Gurea, Jeonnam	0	10	10	105	80	88
	Sandong, Gurea, Jeonnam	0	20	30	46	16	6
	Sanjae, Sanpo, Naju, Jeonnam	0	0	0	105	105	106
	Nampyeong, Naju, Jeonnam(SJ Jung)	0	0	0	30	32	31
	Nampyeong, Naju, Jeonnam(IJ Kim)	0	0	0	30	21	18
	Nampyeong, Naju, Jeonnam(IS Moon)	0	0	10	20	15	22
	Nampyeong, Naju, Jeonnam(MG Jang)	0	0	0	15	13	17
	Gumdong, Noan, Naju, Jeonnam(SS Shim)	0	0	0	4	3	3
	Duckrim, Bonghwang, Naju, Jeonnam(JH Lee)	0	0	0	8	8	7
	Sanpo, Naju, Jeonnam (SH Kim)	0	0	0	6	6	6
	Snapo, Naju, Jeonnam(SN Rho)	0	0	0	5	7	5
	Sanpo, Naju, Jeonnam(BC Choi)	0	0	0	8	7	8
	Yongsan, Seji, Naju, Jeonnam(DH Kim)	0	0	0	11	12	10
	Woongok, Naju, Jeonnam(HM Kim)	0	0	0	22	19	21
	Sungjin, Damyang, Jeonnam	0	10	20	13	10	7
	Songae, Haeje, Muan, Jeonnam(YT Kim)	0	0	0	10	11	10
	Dogae, Miryok, Bosung, Jeonnam	0	10	20	8	7	6
	Weolang, Dopo, Youngam, Jeonnam(TJ Jeong)	0	0	0	6	5	6
	Weolsong, Sijong, Youngam, Jeonnam(SS Lee)	0	10	20	35	30	20

To be continued

<i>Monochoria vaginalis</i>	Weolsong, Sijong, Youngam, Jeonnam(YH Kim)	0	0	0	11	8	6	
	Weolsong, Sijong, Youngam, Jeonnam(JS Kim)	0	0	0	7	7	7	
	Weolsong, Sijong, Youngam, JeonnamBH Cho)	0	10	30	12	11	11	
	Weolsong, Sijong, Youngam, Jeonnam(JJ Lee)	0	0	0	40	41	38	
	Weolsong, Sijong, Youngam, Jeonnam(YJ Choi)	0	0	20	70	65	49	
	Taegwan, Silong, Youngam, Jeonnam(HJ Kim)	0	0	0	18	17	19	
	Haksung, Sijong, Youngam, Jeonnam(YC Kim)	0	0	0	14	15	14	
	Myongdong, Shinbuk, Youngam, Jeonnam(JO Ryu)	0	0	0	8	8	7	
	Yongsan, Shinbuk, Youngam, Jeonnam(SY Ryu)	0	0	0	10	10	10	
	Yongsan, Shinbuk, Youngam, Jeonnam(YG Park)	0	0	0	8	9	10	
	Yongsan, Shinbuk, Youngam, Jeonnam(NJ Choi)	0	10	10	10	7	6	
	Yongsan, Shinbuk, Youngam, Jeonnam(MO Cheon)	0	0	0	19	18	17	
	Weolrim, Yongsan, Janghung, Jeonnam(HG Ahn)	0	0	0	8	8	8	
	Chungshin, Ockcheon, Haenam, Jeonnam(NG Cho)	0	0	10	35	35	27	
	Dasan, Ockcheon, Haenam, Jeonnam(BS Jin)	0	0	0	5	6	5	
	Seowoon, Ockcheon, Haenam, Jeonnam(I Jeong)	0	0	0	25	27	24	
	Sungsan, Ockcheon, Haenam, Jeonnam	0	0	0	20	18	21	
	Sungsan, Ockcheon, Haenam, Jeonnam(SH Yun)	0	0	10	21	19	18	
	Sungsan, Ockcheon, Haenam, Jeonnam(SC Jeong)	0	0	0	35	29	33	
	Sungsan, Ockcheon, Haenam, Jeonnam(MJ Kim)	0	0	0	15	15	13	
	Hakdong, Ockcheon, Haenam, Jeonnam(IS Pyon)	0	0	0	22	20	19	
	Hwadang, Ockcheon, Haenam, Jeonnam(GY Kim)	0	0	0	20	18	20	
	Chungsan, Haenam, Jeonnam	0	0	0	40	40	40	
	Songshin, Hwasan, Haenam, Jeonnam(JC Yun)	0	10	10	19	18	17	
	Ishipgong, Hwasoon, Jeonnam(HW Yun)	0	0	0	67	65	63	
	<i>Lindernia dubia</i>	Doosandong, Gwangsan, Gwangju(YG Kim)	0	0	0	25	25	25
		Yonggokdong, Gwangsan, Gwangju(YG Kim)	0	0	0	25	20	25
		Yonggokdong, Gwangsan, Gwangju(SW Kim)	0	10	10	20	10	10
		Pyeongdong, Gwangsan, Gwangju(JG Kim)	0	0	0	25	25	25
		Pyeongdong, Gwangsan, Gwangju(HJ Kim)	0	0	0	6	7	6
		Sanjae, Sanpo, Naju, Jeonnam	0	0	0	35	30	35
		Nampyeong, Naju, Jeonnam(SJ Jeong)	0	0	0	9	8	7
		Gumbong, Dolsan, Yosu, Jeonnam	0	10	30	143	80	34
Pyeongdong, Gwangsan, Gwangju		0	0	0	100	97	103	
Pyeongdong, Gwangsan, Gwangju(GN Jeon)		0	0	0	80	75	85	
Sanjae, Sanpo, Naju, Jeonna		0	0	0	15	16	14	
Dukrim, Bonghwa, Naju, Jeonnam		0	10	10	6	5	5	
Sungjin, Damyang, Jeonnam	0	10	20	13	10	7		
<i>Rotula indica</i>	Sanjae, Sanpo, Naju, Jeonnam	0	10	20	120	117	123	

* Parameters were recorded 20 days after treatment.

** Herbicide was treated to the accessions at 2 leaf stage.

^{a)}0 - 100, 100; complete killed.

농기구를 사용하는 농가 또는 동일 수로계에 위치하는 주변 포장에서 저항성 잡초종의 출현율이 높았다는 보고(Itoh 등 1998) 등을 고려한다면 우리 나라의 경우도 저항성 잡초종이 출현한 수도작 지대에서는 빠른 기간내에 주변 지역으로 확산될 가능성이 높다.

제초제 처리 후에도 논에 잔존하는 잡초들은 주로 사용 제초제의 스펙트럼을 벗어난거나 잔효기간이 짧거나 처리 및 관리기술 부족 등으로 인하여 나타날 가능성이 높지만 본 연구결과에서 확인된 바와 같이 동일 제초제의 2-3년 연용에 따른 저항성 출현 가능성도 배제할 수 없으므로 추후의 사용제초제 선정 및 처리방식을 고려해야 할 것으로 사료된다.

Table 5에서 imazosulfuron에 가장 저항성을 보인 각각의 잡초종을 선별하여 위와 동일한 방법으로 ALS 저해형 제초제에 대한 교차 저항성을 검토하였다. 물달개비, 미국외풀, 발뚨외풀 및 마디꽃의 저항성 초종은 전남 산포면 산체리에서 수집한 종자를 사용하였고, 이들 잡초종에 대한 감수성 종자는 sulfonyleurea계 제초제를 처리하지 않은 순천시 서면 죽평리 등에서 수집하여 비교대상으로 사용하였다. 저항성 물달개비의 경우 ALS 저해형 제초제에 대한 반응차이는 있었으나 각 제초제의 표준량의 배량에서도 완전하게 방제되지 않았다. 그러나 감수성 생태형은 이들 제초제의 표준량에서 완전 방제되었다. 저항성 미국외풀도 bensulfuron-methyl, imazosulfuron 및 pyrazosulfuron-ethyl 표준량의 배량 처리에서도 20%이하의 방제 효과를 보였으나 감수성 생태형은 표준량에서 완전 방제되었다. 저항성 발뚨외풀도 imazosulfuron의 표준량에서 전혀 방제되지 않았으며 마디꽃도 감수성 생태형에 비해 ALS 저해형 제초제에 의한 방제효과가 낮았다. 따라서 imazosulfuron에 저항성으로 나타난 잡초종들은 다른 ALS 저해제에 대하여 교차저항성을 보이는 것으로 확인되었다. Kuk 등(2002)도 imazosulfuron에 저항성 물달개비 생태형은 다른 sulfonyleurea계 제초제인 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron 및 pyrazosulfuron-ethyl에 교차저항성이 있음을 보고하였으나, imidazolinone계 제초제인 imazaquin과 imazapyr에 대해서는 교차저항성이 없는 것으로 보고하였다.

Table 5. Controlling effects of ALS inhibitor herbicides on the susceptible (S) and the resistant (R) biotypes of *Monochoria vaginalis* (MOVAG), *Lindernia dubia* (LIDUB), *Lindernia procumbens* (LIPRO), and *Rotala indica* (ROIND).

Herbicide	Dose (g a.i./ha)	Visual rate ^{a)}											
		MOVAG		LIDUB		LIPRO		ROIND					
		S	R	S	R	S	R	S	R				
Azimsulfuron	15	100	30	-	-	-	-	-	-	100	40	-	-
	30	100	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bensulfuron-methyl	51	100	40	100	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	102	100	70	100	10	-	-	-	-	-	-	-	-
Cinosulfuron	24	100	30	-	-	-	-	-	-	100	60	-	-
	48	100	50	-	-	-	-	-	-	100	60	-	-
Cyclosulfamuron	60	100	5	-	-	-	-	-	-	100	30	-	-
	120	100	65	-	-	-	-	-	-	100	50	-	-
Imazosulfuron	75	100	0	100	5	100	0	100	0	100	40	-	-
	150	100	5	100	20	100	0	100	0	100	60	-	-
LGC-42153	30	100	0	-	-	-	-	-	-	100	40	-	-
	60	100	0	-	-	-	-	-	-	100	60	-	-
Pyrazosulfuron-ethyl	21	100	70	100	0	-	-	-	-	100	40	-	-
	42	100	75	100	5	-	-	-	-	100	50	-	-

* The herbicides were treated to each biotype at 2-leaf stages.

^{a)} Visual rate : 0-100, 100, complete killed.

또한 sulfonyleurea계 저항성 물달개비, 발뚝외풀, 미국외풀, 마디꽃 등에 대한 저항성 기작을 알아보기 위해 이들 제초제의 작용점 효소인 ALS에 대한 *in vitro* 및 *in*

in vivo 반응을 추가 검토 중에 있으며 61개 지역으로 가장 많은 지역에서 확인된 물달개비에 대해서는 저항성 및 감수성 초종의 적응성 등에 대하여 검토중에 있다.

이상의 결과와 같이 전남지역에서 *sulfonylurea*계 제초제 저항성 잡초의 출현은 해남군, 영암군, 나주시에서 가장 많이 확인되었으며 그밖에도 광주 광산구, 강진군, 고흥군, 광양시, 구례군, 담양군, 무안군, 보성군 등의 전남지역 일원에서 확인됨으로서 이러한 저항성 잡초의 효과적인 방제와 출현 억제에 위한 대책이 요망된다.

4. 결과요약

전남 15개 시군 주요 농가의 농민 114명을 대상으로 수도작 재배양식, 논 제초제 사용현황, 잔존 잡초종, 잔존잡초 방제방법 등에 관한 설문조사를 실시하였으며 각 지역에서 논토양을 채취하여 *sulfonylurea*계 제초제에 대한 저항성 반응과 ALS 저해형 제초제에 대한 교차저항성을 검토하였다. 조사 농민의 주요 소득원은 50%가 수도작으로 응답하였으며 재배양식은 80% 이상이 기계이앙재배를 실시하고 있었다. 이앙전이나 파종전에 농가에서 사용하는 제초제는 주로 oxadiazon(14.9%)과 butachlor(10.5%)였으며 이앙 후에는 butachlor(17.5%), pyrazosulfuron-ethyl + molinate(15.8%), bensulfuron-methyl + molinate(12.3%) 등이었다. 제초제 처리후 눈에 잔존하는 주요 잡초는 피(24.6%), 물달개비(23.7%)가 주를 이루었으며 이러한 잔존잡초는 손으로 제거(39.5%)하거나 제초제를 다시 처리(29.8%)하는 농민이 상당부분을 차지하였다. 같은 제초제는 2년(32.5%)에서 3년(21.1%) 정도 사용하였으며 제초제 처리량은 기준량을 지키고 있는 비율이 43.9%로 나타났으나 효과가 없을 것 같다(38.6%)거나 항상 처리해 오던 경험(10.5%)으로 40.4%의 농민이 추천량보다 많은 양을 처리하고 있었다.

17개 지역 201개 장소에서 채취한 논토양에서 발아한 잡초는 피, 물달개비, 발뚝외풀, 미국외풀, 마디꽃 등이었으며 imazosulfuron에 대한 저항성은 74개 장소(37%)에서 나타났다. 초종별로는 물달개비 61개 장소, 미국외풀 8개 장소, 발뚝외풀 5개 장소 및 마디꽃 1개 장소에서 저항성으로 확인되었다. 이중 가장 저항성을 보인 각각의 잡초종에 대한 ALS 저해제, azimsulfuron, bensulfuron-methyl, cinosulfuron, cyclosulfamuron, imazosulfuron, LGC-42153 및 pyrazosulfuron-ethyl에 대해 교차저항성을 검정한 결과, 모든 초종은 이들 제초제에 대하여 교차저항성을 나타내는 것으

로 확인되었다. 따라서 sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초방제를 위한 효율적인 방안 제시가 요망된다.

제2절 Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비의 간이

진단법

1. 서론

Sulfonylurea (SU)계 제초제는 1980년 초에 상업화되었다. 이들 제초제는 저약량 (10-200g ai/ha)으로 광엽 및 화본과 잡초를 방제할 수 있고, 포유동물, 어류, 조류 및 곤충과 같은 비표적 생물에 안전하다(Saari et al. 1992; Smith 1991). SU계 혼합제는 한국의 논에서 잡초방제를 위하여 사용되고 있는 주요 제초제이다. 이들 제초제의 연 용에 의해 수도포장에서 제초제 저항성 잡초종이 출현하고 있다. SU계 제초제 저항성 은 1987년에 미국의 Idaho주의 밀 포장에서 처음으로 출현하였는데, 이들 포장은 chlorsulfuron을 5년 연속하여 사용한 후 야생 상추(*Lactuca serriola* L.)가 더 이상 방 제되지 않았다(Mallory Smith et al. 1990). 그 이후로 acetolactate synthase (ALS; EC 4.1.3.18) 저해제인 sulfonylureas, imidazolinones, triazolopyrimidine sulfonanilides, sulfamoylureas 및 pyrimidiny] thiobenzoates계 제초제 저항성 잡초종이 세계적으로 70종 이상이 보고되고 있다(Heap 2002). 이들 종의 한종 또는 이상의 저항성 생태형 이 미국, 캐나다, 오스트레일리아와 다른 나라에서 확인되었다(Friesen et al. 1993; Hall and Devine 1990; Heap 2002; Primiani et al. 1990; Saari et al. 1992, 1994). 대 부분 SU계 저항성 잡초종은 chlorsulfuron 또는 chlorsulfuron + metsulfuron을 3년 또는 5년 처리된 밭 포장에서 수집되었다(Thill et al. 1991). 그러나 1992년 에 bensulfuron에 저항성 알방동사니(*Cyperus difformis* L.)와 California arrowhead (*Sagittaria montevidensis* Cham. & Schldl.)가 미국의 캘리포니아주 논에서 발생되었 다(Saari et al. 1994). SU계 저항성 물옥잠은 1996년 일본의 Hokkaido에서 보고되었 다(Wang et al. 1997). 7초종의 SU계 저항성 초종, *Lindernia procumbens* Philcox., 미국의플(*Lindernia dubia* L. Pennell var. *dubia*), *Lindernia micrantha*, *Linnophyla sessiliflora* Blume, 마디꽃(*Rotata indica* (Willd.) Koehne), *Elatine triandra* Schk. var. *pedicellata* 및 올챙고랭이(*Scirpus juncooides* Roxb.)가 SU계 제초제의 연용으로 인하여 일본에서 보고되고 있다(Itoh et al. 1997). 최근에는 한국의 서해안 간척지 논

에서 SU계 저항성 물옥잠이 출현하였고(Park et al. 1999), 추가적으로 물달개비(Kwon et al. 2000), 미국외플 (Park et al. 2000) 및 마디꽃(Kwon et al. 2001)이 한국의 전남지방 논에서 출현하였다. 이들은 논 포장들은 벼 단작 재배지이고 1990년 이후로 8년 연속하여 SU계 혼합제를 사용하고 있다.

저항성 생태형은 감수성 생태형처럼 번식과 생장이 좋아서 쉽게 논 포장에 전파될 수 있다. 한국의 남부지방의 직파와 이앙재배지에서 저항성 생태형 출현은 벼의 수량을 각각 70%와 44% 감소시키는 원인이 되었다(Kuk et al. 2001). 또한 저항성 생태형의 감염은 2, 4-D와 bentazon과 같은 경엽처리제에 의한 체계처리로 제초제 비용을 증가 한다. 따라서 이 연구의 목적은 SU계 저항성 물달개비 생태형을 진단하는데 빠르고, 경제적이며, 신뢰할 수 있는 방법을 개발하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 종자수집

저항성 물달개비종자는 2000년에 전남농업기술원 수도포장에서 수집하였고, 이들은 포장은 8년 연속 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 혼합제를 사용하였다. 감수성 종자는 SU계 제초제를 전에 전혀 사용하지 않은 순천시에 위치한 논에서 수집하였다. 이들 수집한 종자를 건조한 후 휴면타파를 위하여 4℃ 냉장고에 한 달 동안 저장하였다.

나. Whole-plant 반응

종자는 식양토의 논토양이 충진된 plastic pots(280cm² 표면면적)에 파종하여 온실(주야, 30/20℃; 14/10 시간 광주기)에 두었다. 파종한 유묘의 2엽기 때 pot의 물의 깊이를 3cm로 조절한 후 SU계 제초제인 imazosulfuron(0.15, 0.3, 0.6, 1.2, 2.3, 4.7, 9.4, 18.8, 37.5, 75, 150, 300, 600, 1,200 및 4,800 g ai ha⁻¹)과 pyrazosulfuron-ethyl(0.15, 0.3, 0.7, 1.3, 2.6, 5.3, 10.5, 21, 42, 84, 168 및 336 g ai ha⁻¹)을 처리하였다. Imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl의 추천량은 각각 75와 21 g ai ha⁻¹이다. 처리

후 20일에 생존한 개체수를 조사하고, 토양 표면에서 식물체를 잘라서 60°C의 건조기에 48시간 건조하여 지상부 건물중을 조사하였다. 동일한 실험은 2회 또는 3회 실시하였다. 자료는 SAS(2000) 프로그램을 사용하여 비선형회귀인 Logistic equation 1,

$$Y = \frac{a}{1 + (X/X_0)^b},$$

또는 Sigmoid equation,

$$Y = \frac{a}{1 + e^{(XX_0/b)}},$$

중에 자료에 적합한 equation을 사용하여 GR_{50} (지상부 건물중이 50% 감소하는 제초제 농도)를 계산하였다.

다. 종자발아 검정

종자발아 실험은 6cm 직경의 Petri dish를 사용하여 완전임의 배치 3반복으로 수행하였다. 각각의 Petri dish에는 약 100개의 종자를 넣고 0.01, 0.1, 1, 10, 100 및 1,000 μ M imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl 용액 5ml에 침중하였다. 이 용액양은 종자를 충분하게 침지할 수 있는 양이다. Petri dish는 파라필름으로 밀봉하고 생장상(주야, 30/20°C; 14/10 시간 광주기, 광량 250 μ mol m⁻²s⁻¹ PAR)에서 배양하였다. 처리 후 3일째에 잔존한 용액을 제거하고 각각 새로운 제초제 용액 5ml로 갈아주었다. 무처리구는 증류수로 사용하였다. 발아율과 지상부 건물중은 처리 후 6일에 조사하였다. 실험은 3번 반복하였고, 자료는 SAS(2000) 프로그램을 이용하여 비선형 회귀식 Logistic equation 1 또는 Logistic equation 2 중에

$$Y = Y_0 + \frac{a}{1 + (X/X_0)^b},$$

자료에 적합한 회귀식을 이용하여 GR_{50} 값을 산출하였다.

다. Leaf bioassay

잎 bioassay 실험은 6-7엽이 전개 후에 발생한 가장 어린 심장형의 잎을 사용하여

수행하였다. 이들 어린잎을 잘라 90cm petri dish에 넣어, 완전임의 3반복으로 배치하였다. 잎은 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl이 0, 0.01, 0.1, 1, 10 및 100 μ M 포함된 25% MS 배지에 배양하였다. 잎 절편이 용액에서 다 뜰 수 있도록 30ml를 petri dish에 넣었다. 그 후 Petri dish는 밀봉하고 생장상(주야, 30/20 $^{\circ}$ C; 14/10 시간 광주기, 광량 250 μ mol m⁻² s⁻¹ PAR)에서 배양하였다. 처리 후 3일째에 잔존한 용액을 제거하고 각각 새로운 제초제 용액 30ml로 갈아주었다. 무 처리구는 증류수로 사용하였다. 배양 후 6일째에 엽록소 함량과 잎의 탈색정도를 달관평가 하였다(0-100, 0, 잎의 녹색이 변화가 없는 것). 실험은 3번 반복하였고, 자료는 회귀식에 의하여 엽록소 함량과 엽의 탈색의 50% 억제 농도(I₅₀)을 계산하였다.

엽록소는 Hiscox와 Israelstam (1979) 방법에 의하여 추출하고 분석하였다. 엽록소 추출을 위하여 잎을 10ml의 dimethyl sulfoxide(DMSO)에 넣고 암상태에 48시간 둔 후 스펙트로포토미터를 이용하여 각각 645nm와 663nm에서 엽록소 a와 b를 분석하였다. Total 엽록소 함량은 다음 공식에 의하여 산출하였다.

$$\text{Chlorophyll (mg L}^{-1}\text{)} = [(20.2 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})] \times \text{dilution factor}$$

Data는 위에서 언급한 비선형 회귀식 Logistic equation 1을 이용하여 I₅₀값을 계산하였다.

마. *In vitro* ALS 분석

효소 추출과 분석은 Ray (1984) 방법을 다소 변형하여 사용하였다. 6-7엽에서 출현한 가장 어린 심장형 잎 4g을 액체질소에 얼리고, 1 mM sodium pyruvate, 0.5 mM MgCl₂, 0.5 mM thiamine pyrophosphate (TPP), 10 μ M flavin adenine dinucleotide (FAD), 0.5% polyvinylpyrrolidone (PVP) 및 10 % (v/v) glycerol이 포함된 50 mM K₃PO₄ buffer(pH 7.0) 10ml를 넣어서 마쇄하였다. 균질물은 4점의 Miracloth로 여과하고 20,000g로 4 $^{\circ}$ C에서 20분간 원심분리 하였다. 조효소(ALS) 추출물의 단백질은 45% (NH₄)₂SO₄을 사용하여 30분 동안 얼음위에서 침전시켰다. 그 후 20,000g로 4 $^{\circ}$ C에서 20분간 원심분리 하였다. 침전액은 1ml의 elution buffer에 재현탁시켰다 그 추출물은 Sephadex G 25 column (PD 10)을 이용하여 제염하였고, 이때 사용한 칼륨은 70mM K₃PO₄ elution buffer (pH 7.5, 80 mM sodium pyruvate, 0.5 mM MgCl₂ 및 0.5 mM

TPP로 세척하였다. 이렇게 하여 조효소액을 2.5ml을 수집하여 사용하였다. 200 μ l의 효소 추출액과 10 μ l의 제조제 용액을 790 μ l의 assay buffer [70 mM K₃PO₄ buffer (pH 7.5), 80 mM sodium pyruvate, 0.5 mM MgCl₂, 0.5 mM TPP]에 혼합하여 1시간 동안 37°C에 배양하였다. Assay 용액에 제조제 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl의 최종 농도는 0, 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100 및 1,000 μ M 이었다. 반응이 끝나면 6N H₂SO₄ 50 μ l를 assay 용액 500 μ l에 넣고 acetolactate에서 acetoin로 전환하기 위하여 60°C에서 30분간 배양하였다. ALS 활성에 의한 색깔의 변화를 평가하기 위하여 2N NaOH 50 μ l를 남아있는 assay 용액 500 μ l에 넣어 흡광도를 아래 방법을 사용하여 측정하였다.

Acetoin은 colorimetric assay(Westerfeld 1945)법을 다소 변형하여 사용하였고, 색 짙은 0.5% (w/v) creatine의 0.5ml와 2.5N NaOH으로 조제된 5% (w/v) α -naphthol의 0.5ml를 넣어 60°C에서 15분간 반응시켰다. 흡광도는 스펙트로포토미터로 530nm에 측정하였다. ALS 추출물의 total 단백질은 Bradford(1976) 방법으로 결정하였다.

Data는 위에서 언급한 비선형 회귀식, Logistic equation 1 또는 Logistic equation 2을 사용하여 I₅₀값을 계산하였다.

바. *In vivo* ALS 분석

*In vivo*에 의한 acetolactate 축적은 Gerwick 등 (1993)의 방법을 다소 변형하여 분석하였다. *In vivo* ALS 분석은 6cm petri dish를 사용하여, 3반복 완전임의 배치로 하였다. 각각의 petri dish에 1개의 잎을 넣었다. 6-7엽이 전개된 후 발생한 어린 본엽을 500 μ M 1,1-cyclopropanedicarboxylic acid (CPCA, ketol acid reductoisomerase 저해제)가 포함된 25% MS(Murashige and Skoog) 배지 4ml에 넣었고(Gerwick et al. 1993), 이 4ml 속에는 ALS 억제제 제조제, imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl 0, 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100 및 1,000 μ M 되도록 조제되었다. 잎이 들어 있는 Petri dish은 25°C의 생장상(250 μ mol m⁻²s⁻¹ PAR)에 24시간 배양하였다. 배양 후 잎은 적게 자라고 1.5 ml의 Eppendorf tube에 넣었다. 이 tube는 ALS 활성을 분석하기 전까지 8 0°C에 보관하였다. ALS 활성을 분석하기 위하여 300 μ l의 이온수를 시료에 넣고 60°C에서 5분간 가열한 후 그 시료를 25°C에서 45분간 배양하였다. 배양 중에 잎조직으로

부터 acetolactate 누출을 위하여 15분 간격으로 교반하여 주었다. 교반 후 각각 100 μ l을 취하여 6N H₂SO₄ 또는 2 NNaOH 10 μ l를 혼합하였다. 이 혼합물은 acetolactate에서 acetoin으로 전환하기 위하여 60°C에서 30분간 배양하였다.

Acetoin은 위의 *in vitro* 방법과 동일하게 수행하였다. Data는 위의 *in vitro* 방법과 동일한 Logistic equation 1을 사용하여 I₅₀ 값을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

가. Whole-plant 검정

물달개비 수집종 #9는 온실조건의 whole-plant 검정에서 imazosulfuron에 높은 저항성을 보였고 다른 SU계 제초제인 pyrazosulfuron-ethyl에도 교차저항성을 보였다 (Figure 1). 저항성 생태형의 생존율에 대한 GR₅₀ 값은 4,800g ai ha⁻¹ 이상이었다. 물달개비 2엽기 때 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl을 처리하였으며, 이때 저항성 생태형의 생존율은 감수성 생태형에 비해 각각 2,100배와 50배 높았다(Figure 1A). 그러나 저항성 생태형의 지상부 건물중에 기초한 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl의 GR₅₀은 감수성 생태형에 비해 각각 3,200배와 7배 높았다(Figure 1B). 이들 두 parameter-간에 저항성 정도의 차이를 보였는데, 지상부 건물중이 생존율에 비해 SU계 제초제에 의해 더 영향을 미치는 것을 의미한다. Whole-plant 검정은 다른 분석법의 효과를 평가하는데 기준으로 삼고자 사용하였다.

Whole-plant 검정은 신뢰할 수 있는 방법이며 포장조건에서 저항성 수준을 알아 볼 수 있는 방법이나, 시설 비용이 들고, 노동이 요구되며, 분석을 완성하는데 몇 달 걸리는 단점이 있다. 이렇게 시간이 많이 소요되는 이유는 유묘성장, 제초제 처리, 처리 후 반응 평가, 종자 후숙 및 종자휴면 등에 시간이 소요되기 때문이다. 만일 종자가 곧바로 발아한다면 원하는 식물체 크기에 도달하는데 약 3주가 걸리고 처리 후 저항성 개체를 분류하는데 추가적으로 20일이 요구된다. 종자가 곧 바로 발아하지 못하면 이러한 휴면 문제를 극복하는 데에 1-2주가 더 소요된다.

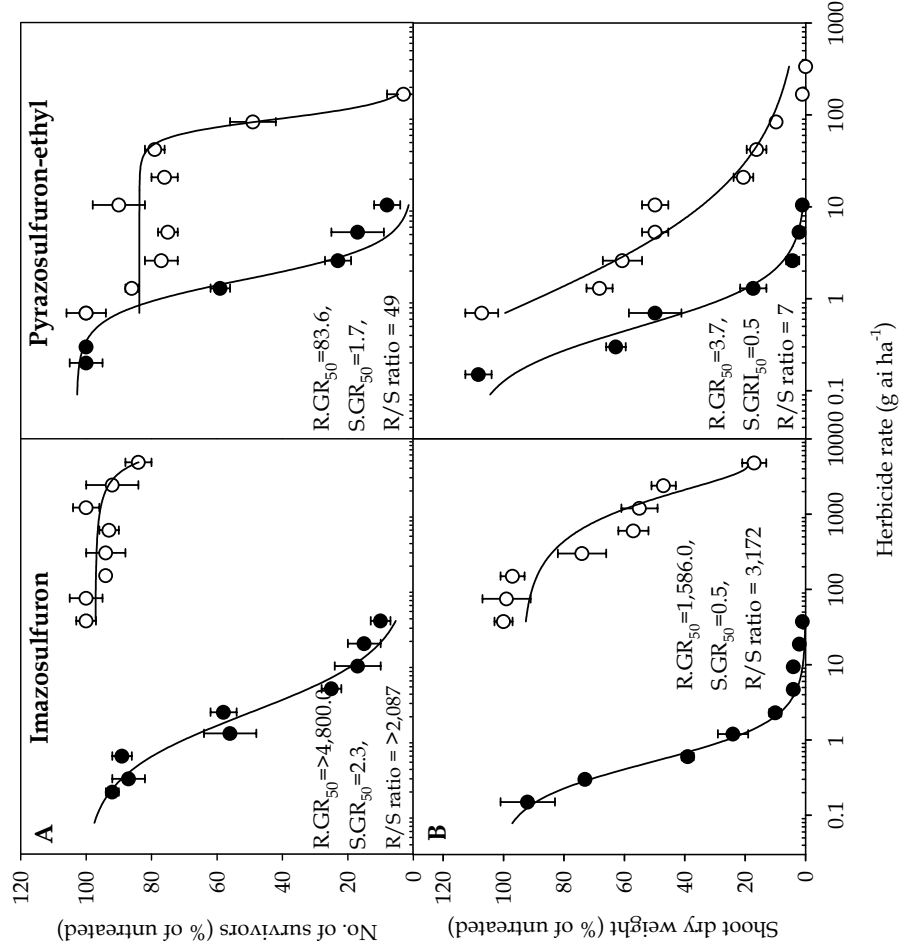


Figure 1. Number of survivors (A) and shoot dry weight (B), 20 DAT, of susceptible (●, S) and resistant (○, R) biotypes of *M. vaginalis* as affected by imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl in whole plant bioassay. Herbicides were applied at the 2 leaf stage. Vertical bars represent standard errors of the mean. GR₅₀ values were the imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl concentrations that reduced number of survivors and shoot dry weight by 50%. R/S ratios were calculated relative to the GR₅₀ value of the S biotype. Regression equations for number of survivors as affected by imazosulfuron were $Y=99.9/1+e^{(X+8075)/2515}$, $R^2=0.69$ for R and $Y=101/[1+(X/2.23)^{1.02}]$, $R^2=0.97$ for S biotypes. Regression equations for number of survivors as affected by pyrazosulfuron-ethyl were $Y=83.7/[1+(X/90)^{4.56}]$, $R^2=0.93$ for R and $Y=103/[1+(X/1.62)^{2.29}]$, $R^2=0.97$ for S biotypes. Regression equations for shoot dry weight as affected by imazosulfuron were $Y=3147/1+e^{(X+8546)/2488}$, $R^2=0.89$ for R, and $Y=1409/1+e^{(X+1.870)/0.737}$, $R^2=0.99$ for S biotype. Regression equations for shoot dry weight as affected by pyrazosulfuron-ethyl were $Y=190/[1+(X/0.62)^{0.57}]$, $R^2=0.95$ for R and $Y=103/[1+(X/0.49)^{1.58}]$, $R^2=0.97$ for S biotype. Arrow indicates the recommended use rate of imazosulfuron (75 g ai ha⁻¹) and pyrazosulfuron-ethyl (21 g ai ha⁻¹) for rice paddy fields in Korea.

나. 종자발아 검정

무처리 상태의 저항성과 감수성 생태형의 발아율은 각각 95%와 90%이었다. Imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl 반응에서 저항성 생태형의 발아율에 의한 GR₅₀ 값은 감수성 생태형에 비해 각각 230배와 120배 높았다(Figure 2A). 저항성 생태형의 지상부 건물중에 의한 GR₅₀ 값은 imazosulfuron에 240 μ M(감수성 생태형에 비해 13배 저항성)과 pyrazosulfuron-ethyl에 30 μ M(감수성 생태형에 비해 8배 저항성)이었다(Figure 2B). Petri dish에서 지상부 건물중은 측정하기 어렵다. 왜냐하면 sampling 시기에 shoot가 매우 작기 때문이다. 그러므로 지상부 건물중은 petri dish에서 발아율과 비교해서 저항성을 평가하는데 바람직하지 않다. 본 연구는 whole-plant 검정이 일반적으로 저항성 수준을 탐색하는데 petri dish 검정에 비해 더 민감함을 의미한다. 그러나 발아율 반응은 whole-plant 검정보다 pyrazosulfuron-ethyl에 저항성 물달개비 지 표로서 더 좋았다. Petri dish에서 종자 발아 검정은 whole-plant에 비해 저렴하고, 빠르고(6일 소요), 공간이 적게 요구된다. Petri dish 검정은 많은 의심스러운 저항성 개체들을 선별하는데 실질적으로 유용한 방법이다. 그래서 종자검정은 acetyl CoA carboxylase 저해제에 저항성인 야생귀리(*Avena fatua* L.)와 라이그라스류를 확인하는 데 사용되고 있다(Kuk et al. 2000; Murray et al. 1996).

다. Leaf Bioassay

Whole-plant와 종자 발아 검정과 다르게, 잎 검정법은 포장에서 SU계 제초제를 처리하고 생존한 실제 잎을 이용할 수 있다. 이 분석법은 단지 6일 소요되며, 간단하고 비용이 적게 드는 장점이 있다. 그러나 포장에서 실험실까지 운반하고 보관하기 힘들다. 그래서 포장에서 수집한 잎을 물이 약간 들어 있는 vinyl bag에 넣고, 이 vinyl bag을 얼음이 들어 있는 styrofoam box에 넣어 즉각 실험실로 운반하였다. 또한 이 분석법은 동일한 염령을 사용하는 것이 절대적으로 필요하다. 왜냐하면 염령이 다른 제초제 반응도 다르기 때문이다. 물달개비는 6-7엽으로부터 첫 번째 심장형 모양의 잎이 출현하는데 이 잎을 사용하는 것이 가장 좋다. 50% 잎의 탈색은 사용한 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl의 가장 높은 처리에 의해서도 얻을 수가 없어

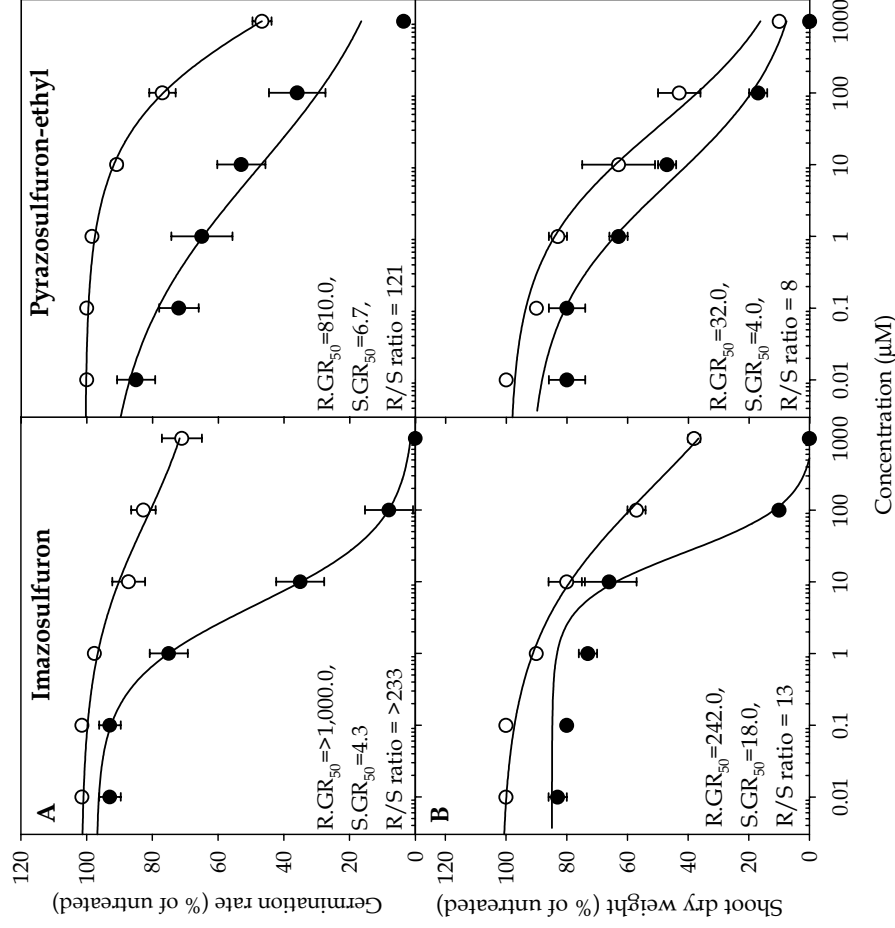


Figure 2. Germination rate (A) and shoot dry weight (B), 6 DAT, of susceptible (●, S) and resistant (○, R) biotypes of *M. vaginalis* as affected by imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl in seed bioassay. Vertical bars represent standard errors of the mean. GR₅₀ values were the imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl concentrations that reduced germination rate and shoot dry weight by 50%. Regression equations for germination rate as affected by imazosulfuron were $Y=97/[1+(X/4.77)^{0.79}]$, $R^2=0.99$ for S biotype. Regression equations for germination rate as affected by pyrazosulfuron-ethyl were $Y=35.3+135/[1+(X/2370)^{0.49}]$, $R^2=0.99$ for R and $Y=96.1/[1+(X/8.74)^{0.33}]$, $R^2=0.95$ for S biotype. Regression equations for shoot dry weight as affected by imazosulfuron were $Y=101/[1+(X/230)^{0.39}]$, $R^2=0.99$ for R and $Y=2.05+86.9/[1+(X/25.4)^{1.22}]$, $R^2=0.96$ for S. Regression equations for shoot dry weight as affected by pyrazosulfuron-ethyl were $Y=99/[1+(X/34.9)^{0.46}]$, $R^2=0.98$ for R and $Y=92.7/[1+(X/5.67)^{0.47}]$, $R^2=0.97$ for S biotype.

I₅₀ 값을 결정할 수 없었다. 그러나 I₅₀ 값은 100 μ M 이상이다(Figure 3A). 잎의 황화에 기초한 저항성 정도는 감수성 상태형에 비해 imazosulfuron에 1,600배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 300배 높았다. 그러나 저항성 생체형의 엽록소 함량에 근거한 I₅₀ 값은 감수성 상태형에 비해 imazosulfuron에 단지 5배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 4배를 보였다 (Figure 3B). 그래서 이 분석법에서 엽록소 함량은 저항성 물질을 결정하는 데에는 적합한 parameter가 아니었다.

라. *In vitro* ALS 활성

대부분 ALS 저항성은 작용점 변형에 기인된다(Christopher et al. 1991). *In vitro* ALS 활성 측정은 ALS 저해제에 저항성 식물을 탐색하는 또 다른 방법이다. 이 방법은 잎 또는 petri dish 종자 발아 검정법(6일) 보다 훨씬 빠르다(5시간 이하 소요). 이 방법은 ALS 효소를 함유한 혼합물에 ALS 저해제 제조제를 첨가함으로써 acetolactate 합성을 막아 결국 감수성 식물 추출물에서 acetoin 형성을 못하게 하는 방법이다(Ray 1984). 많은 acetoin 함량은 제조제 저항성 ALS가 존재함을 의미한다. 저항성 생체형의 *In vitro* ALS 활성은 감수성 상태형에 비해 imazosulfuron을 처리했을 때 200배, pyrazosulfuron-ethyl을 처리했을 때 30배 높았다(Figure 4A). 그러나 만일 저항성 기작이 증가한 제조제 대사와 관련되었다면 *in vitro* ALS 분석은 저항성 수준을 정확하게 반영하지 못한다는 것을 고려하는 것이 중요하다. 만일 ALS 결합 부위의 변화를 증가한 제조제 대사와 결부시켜 생각한다면 높은 수준의 저항성은 포장에서도 관찰할 수 있을 것이다. 그러나 유의적으로 매우 낮은 저항성은 *in vitro* ALS 분석에 의하여 탐색될 수 있을 것이다. 그럼에도 불구하고 이 방법은 식물이 저항성인지를 확인할 수 있다. 그러나 만일 저항성 기작이 단순히 대사이면 그 식물은 포장에서 제조제에 의해 방제되지 않을 것이다. 그러나 실험실에서는 감수성처럼 진단될 수도 있을 것이다. 또한, ALS 효소의 증가는 분석 결과를 약간 왜곡하는 원인이 될 수도 있다.

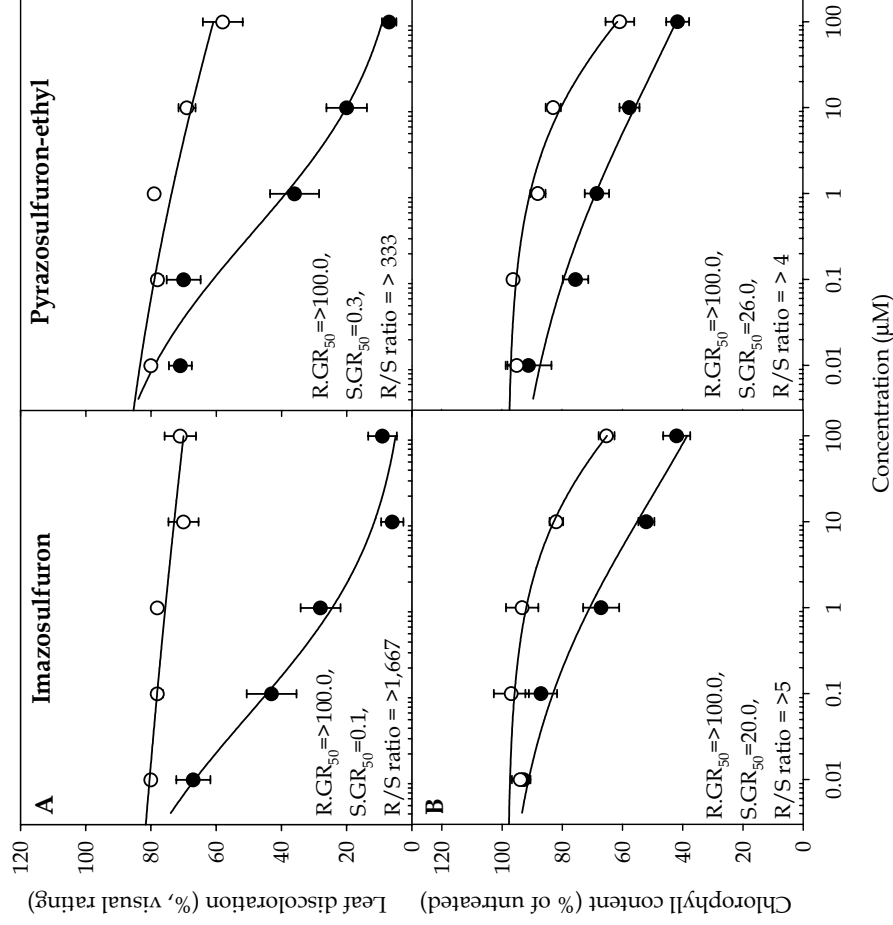


Figure 3. Leaf discoloration (A) and chlorophyll content (B), 6 DAT, of susceptible (●, S) and resistant (○, R) biotypes of *M. vaginalis* as affected by imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl in leaf bioassay. Vertical bars represent standard errors of the mean. I₅₀ values were the imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl concentrations that caused 50% leaf chlorosis and reduction of chlorophyll content. Regression equations for leaf discoloration as affected by imazosulfuron were $Y=100/[1+(X/0.061)^{9.88+7}]$, $R^2=0.97$ for R and $Y=100/[1+(X/0.058)^{0.385}]$, $R^2=0.99$ for S biotype. Regression equations for leaf discoloration as affected by pyrazosulfuron-ethyl were $Y=99.4/[1+(X/343)^{0.129}]$, $R^2=0.95$ for R and $Y=97.8/[1+(X/0.351)^{0.40}]$, $R^2=0.97$ for S biotype. Regression equations for chlorophyll content as affected by imazosulfuron were $Y=98.2/[1+(X/472)^{0.44}]$, $R^2=0.98$ for R and $Y=102/[1+(X/18)^{0.29}]$, $R^2=0.98$ for S biotype. Regression equations for chlorophyll content as affected by pyrazosulfuron-ethyl were $Y=98.1/[1+(X/340)^{0.43}]$, $R^2=0.98$ for R and $Y=100/[1+(X/25.1)^{0.24}]$, $R^2=0.95$ for S biotype.

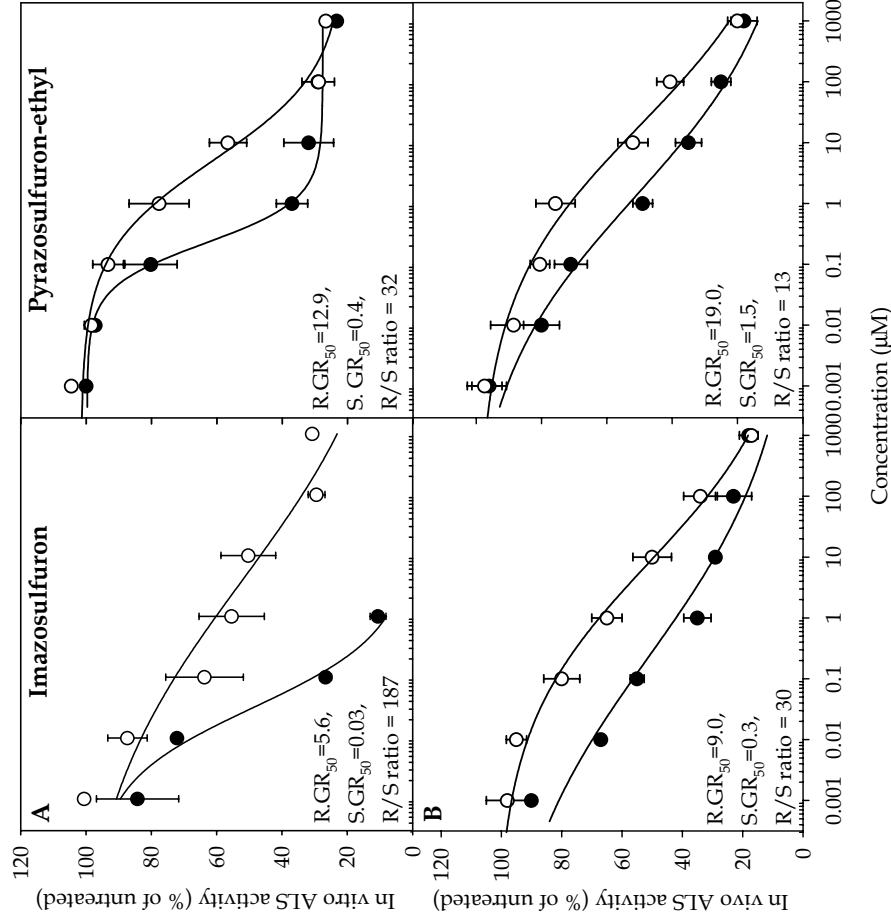


Figure 4. Effects of imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl on *in vitro* (A) and *in vivo* (B) ALS activity of susceptible (●, S) and resistant (○, R) biotypes of *M. vaginalis*. Vertical bars represent standard errors of the mean. I₅₀ values were the imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl concentrations that reduced ALS activity by 50%. Regression equations for *in vitro* ALS activity as affected by imazosulfuron were $Y=105/[1+(X/3.78)^{0.23}]$, $R^2=0.94$ for R and $Y=97.4/[1+(X/0.032)^{0.7}]$, $R^2=0.98$ for S biotype. Regression equations for *in vitro* ALS activity as affected by pyrazosulfuron-ethyl were $Y=20.7+80.9/[1+(X/5.11)^{0.58}]$, $R^2=0.99$ for R and $Y=27.6+72.1/[1+(X/0.22)^{1.2}]$, $R^2=0.99$ for S biotype. Regression equations for *in vivo* ALS activity as affected by imazosulfuron were $Y=102/[1+(X/8.17)^{0.32}]$, $R^2=0.99$ for R and $Y=103/[1+(X/0.22)^{0.24}]$, $R^2=0.97$ for S. Regression equations for *in vivo* ALS activity as affected by pyrazosulfuron-ethyl were $Y=99.6/[1+(X/19.4)^{0.31}]$, $R^2=0.98$ for R and $Y=103/[1+(X/1.28)^{0.28}]$, $R^2=0.98$ for S biotype.

다. *In vivo* ALS 활성

Simpson et al. (1995)은 *in vivo* ALS 분석을 Gerwick et al. (1993) 방법에 기초하여 분석하였다. 이 방법은 ALS 활성을 결정을 하기 위하여 KARI 억제제인 CPCA를 성장하는 유묘에 경엽처리하여 acetolactate 축적을 정량화한다. 그러나 본 연구에서는 잎은 식물체로부터 제거하였고 그 잎을 petri dish에 넣고 CPCA를 처리하였다. 이 분석법은 단독 ketoacid reductoisomerase(KARI) 억제제 또는 KARI 억제제 + ALS 억제제가 함께 처리된 식물조직에서 acetoin 축적을 탐색하는 데 기초한다. KARI 억제제 (CPCA)의 존재하에서는 acetolactate에서 dihydroxyisovalerate로 전환이 억제되며 결국 acetolactate이 축적된다. CPCA에 의한 KARI 억제 반응에서 acetolactate 증가는 저항성 생태형에서 단지 일어나고 ALS 저해제 제조체에 거의 영향하지 않는다 (Gerwick et al. 1993). 축적된 acetolactate는 acetoin으로 전환할 수 있고 그 때 색의 변화를 정량화하였다(Westerfeld 1945). 그래서 SU계 제초제 저항성 식물을 분류하는 데 *in vivo* ALS 활성을 사용할 수 있다. 어저귀(*Abutilon theophrasti*)의 경우 Gerwick 등(1993)은 ALS 활성이 유전적으로 높은 가장 어린 최상단 잎의 사용을 추천하였다. 본 연구에서도 어린 물달개비 잎의 경우가 오래된 잎보다 ALS 활성이 높았다(자료 미제시). 그러나 오래된 잎도 ALS 활성을 진단하는데 충분하였다. Imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl + CPCA가 처리된 물달개비에서 acetolactate 축적에 관한 I_{50} 는 저항성 생태형이 감수성 생태형에 비해 각각 30배와 13배 높았다 (Figure 4B). 또한, 본 연구에 사용한 *in vivo* 분석은 SU계 저항성 물달개비의 저항성 정도에 관한 정보를 제공하지만 *in vitro* ALS 분석처럼 민감하지는 않았다.

본 연구에서는 *in vitro* ALS 활성분석 으로부터 얻은 저항성 수준은 *in vivo* ALS 활성분석에서 얻은 저항성 보다 2-6배 높았다. *In vitro* ALS 분석은 SU계 제초제에 저항성 물달개비를 확인하는데 간편하고 빠르며, 비싸지 않으며 신뢰할 수 있는 방법이다(Table 1). *In vitro* ALS 분석법을 사용하여 8 수집종중 5 수집종이 imazosulfuron에 저항성이었고, 이들 수집종은 다양한 수준의 저항성을 보였다(Table 2). 저항성 수집종의 I_{50} 값은 감수성 생태형에 비해 40-200배 높았다. 이 분석법에서 잎 sample은 저항성으로 의심된 잠초가 발생한 곳에서 직접 수집할 수 있다. 수집한 잎은 약간의 물과 함께 vinyl bag에 넣고, 얼음이 들어 있는 Styrofoam box에 넣어

즉각 실험실로 옮겨졌다. 저항성은 실험실에서 빨리 확인 할 수 있었다. 그래서 저항성이 문제시되기 전에 대체 잠초관리법을 처방할 수 있게 한다. 다른 저항성 기작, 예를 들면 증가된 제초제 대사나 ALS의 과다 발현 또는 제한된 흡수 및 이행이 존재하지 않은지에 관한 연구가 필요하다. 저항성이 흡수와 이행 등과 관련되어 있지 않으면 *in vitro* ALS 분석법을 사용할 수 있다.

Table 1. Comparison of resistance assay techniques.

Assay	Parameter	Herbicide	R/S ratio	Duration
Whole plant bioassay	No. of survivors	Imazosulfuron	2,087	Over 30 d
		Pyrazosulfuron-ethyl	49	
	Shoot dry weight	Imazosulfuron	3,172	Over 30 d
		Pyrazosulfuron-ethyl	7	
Seed bioassay	Germination	Imazosulfuron	233	6 d
		Pyrazosulfuron-ethyl	121	
	Shoot dry weight	Imazosulfuron	13	8 d
		Pyrazosulfuron-ethyl	8	
Leaf bioassay	Leaf discoloration	Imazosulfuron	1,667	6 d
		Pyrazosulfuron-ethyl	333	
	Chlorophyll content	Imazosulfuron	5	8 d
		Pyrazosulfuron-ethyl	4	
<i>In vitro</i> ALS activity	ALS activity	Imazosulfuron	187	< 5 h
		Pyrazosulfuron-ethyl	32	
<i>In vivo</i> ALS activity	ALS activity	Imazosulfuron	30	3 d
		Pyrazosulfuron-ethyl	13	

Table 2. I_{50} values for the *in vitro* ALS assay of susceptible (S) and resistant (R) accessions of *M. vaginalis* treated with imazosulfuron.

Acc. No.	Region	Regression equation ^a	R ²	I_{50}^b (μ M)	R/S ^c
1	Gwangju	$Y = 103/[1+(X/2.24)^{0.27}]$	0.98	2.8	93
2	Gangjin	$Y = 104/[1+(X/1.91)^{0.23}]$	0.95	2.7	90
3	Gohung	$Y = 105/[1+(X/3.54)^{0.23}]$	0.94	5.3	177
4	Gwangyang	$Y = 102/[1+(X/3.95)^{0.24}]$	0.98	4.7	157
5	Gurye	$Y = 103/[1+(X/0.99)^{0.24}]$	0.97	1.2	40
6	Gwangju	$Y = 96.5/[1+(X/0.033)^{0.74}]$	0.97	0.03	1
7	Bosong	$Y = 98/[1+(X/0.033)^{0.69}]$	0.98	0.03	1
8	Haenam	$Y = 98/[1+(X/0.03)^{0.57}]$	0.97	0.03	1
RS ^d	Naju	$Y = 105/[1+(X/3.78)^{0.23}]$	0.94	5.6	187
SS ^e	Sunchon	$Y = 97.4/[1+(X/0.032)^{0.7}]$	0.98	0.03	

^aRegression equation generated using herbicide concentration in μ M.

^b I_{50} values were the imazosulfuron herbicide concentrations that reduced ALS activity by 50%.

^cR/S ratios were calculated based on I_{50} values of accessions tested relative to the standard susceptible accession.

^dStandard resistant accession

^eStandard susceptible accession

4. 결과 요약

SU계 저항성 물달개비는 최근 논에서 출현하고 있다. 제초제 저항성을 확인하는 빠르고 정확한 수단이 필요하다. 그래서 본 연구는 SU계 저항성 물달개비 생태형을 탐색하는데 빠르고 신뢰할 수 있는 분석법을 찾고자 하였다. 본 연구에 사용한 방법은 종자 발아, *in vivo*와 *in vitro* ALS 활성, 잎과 whole-plant bioassay 방법이다. Whole-plant bioassay 방법에 의한 저항성 생태형의 지상부 건물중은 감수성 생태형

에 비해 imazosulfuron에 3,200배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 7배 덜 영향을 받았다. 비록 whole-plant bioassay법이 신뢰할만한 방법이라도 이 방법은 비싸고, 많은 시설이 필요하며 완성하는데 여러 달 걸린다. Petri dish bioassay에 의한 저항성 생태형의 발아율은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에 의해 200배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 의해 100배 적게 억제되었다. Petri dish에 의한 종자발아 검정법은 whole-plant bioassay법처럼 시설이 많이 필요하지도 않고 훨씬 짧은 기간에 분석할 수 있다. Leaf bioassay 검정에서 저항성 생태형의 잎의 색깔은 감수성 생태형에 비교하여 imazosulfuron에 의해 1,600배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 의해 300배 덜 영향을 받았다. 이 분석법은 완성하는 약 6일이 걸린다. *In vivo* ALS 분석은 *in vitro* ALS 분석에 비해 ALS 제초제에 저항성 수준이 낮게 나타났다. 즉, *in vitro* ALS 분석에서 저항성 생태형은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에 200배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 30배 덜 민감하였다. 사용한 모든 분석법은 감수성 생태형으로부터 저항성 생태형을 성공적으로 구별할 수 있으나, *in vitro* 분석법이 가장 간단하고 빠르다. 그래서 *in vitro* ALS 분석법은 물달개비 개체에서 저항성 유무를 확인하는데 표준 방법으로 선발하였다. 저항성 기구가 증가한 제초제 대사 또는 작용점의 파다발현인 경우는 *in vitro* 분석법은 적당하지 않기 때문에 주의가 필요하다. 결과는 포장 역사와 포장 관찰에 관련하여 해석해야 할 것이다.

제3절 Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 잡초종의 생장특성과 저항성 잡초종에 의한 벼 수량감소

1. 서 언

우리나라에서는 1980년대 후반부터 일년생 및 다년생잡초를 동시에 방제할 수 있는 Sulfonylurea계 혼합제초제가 보급되기 시작하였다. 이들 제초제는 적은 약량으로 대상잡초의 폭이 넓으면서도 동물에 대한 안정성이 높은 특징 때문에 빠른 속도로 이용면적이 확대되었다(Caroline 1991). 이와 동시에 생산비를 절감할 수 있는 담수표면적과 재배면적이 남부지방을 중심으로 점차 늘어남에 따라 이에 적용 가능한 Sulfonylurea계통과 혼합된 제초제를 계속적으로 사용할 수밖에 없었다(농약사용지침서 2002). 이로 인해 우리나라에서는 충남서산 농장에서 최초로 물옥잠(Monochoria korsakowii)이 저항성잡초로 보고된 이래(박 등 1999), 주로 담수직파답에서 물달개비(Monochoria vaginalis 권 등 2000), 미국외풀(Lindernia dubia 박 등 2001; 국 2002), 마디꽃(Rotala indica 권 등 2001), 올챙고랭이(Scirpus juncooides 국 등 2002; 마 등 2002), 알방동사니(Cyperus difformis 임 등 2003) 등 일년생 광엽 및 사초과잡초에서 저항성 잡초가 출현하게 되었다.

이와 같이 Sulfonylurea계 제초제들에 대한 잡초 생태형간 반응차이는 이 제초제의 작용점인 ALS(acetolactate synthase) 활성 반응 차이에 기인되는데(Boutsalis 등 1995), 저항성 발현 메카니즘은 ALS 유전자의 돌연변이가 주원인으로 알려져 있다(Dietrich 1992; Guttieri 등 1992). 특히 전남지방 담수직파답에서 이들 잡초가 문제시되는 이유는 ① 담수직파재배 적용 제초제가 주로 Sulfonylurea계 제초제에 광엽에 효과가 적은 제초제 혼합제가 많아 이들 제초제를 필연적으로 연용하여 사용할 수밖에 없고 ② 파종 및 이앙 전 처리 등 체계처리가 미흡하며 ③ Sulfonylurea계 제초제 연용에 따른 제초제 저항성 발현 등으로 추정하고 있다. 그러므로 지금까지 밝혀진 이들 저항성잡초의 생태적 특성이나 방제법을 확립하는 것은 매우 중요한 일이다.

따라서 본 연구는 전남지방 수도작 포장에서 Sulfonylurea계 제초제 저항성잡초로 밝혀진 물달개비, 미국외풀 및 마디꽃의 생태형간 생육반응 차이와 이들 저항성 생태

형이며 생육 및 수량에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 초종별 생태형간 sulfonylurea계 제초제 반응

전남농업기술원 수도작 포장에서 1997년부터 우점한 물달개비, 미국외꽃, 마디꽃을 대상으로 Sulfonylurea계 제초제 반응을 햇빛의 통과가 가능한 비가림 시설하에서 검토하였다. 각 초종별 종자는 2001년 Sulfonylurea계 혼합제초제를 처리하고 생존한 초종들로부터 결실된 종자를 채취하여 5℃ 냉장고에 저장해 두었다가 그 이듬해 6월에 1/5000a 풋트에 파종하였다. 시험제초제는 Sulfonylurea계 제초제로 bensulfuron-methyl 0.1% GR, pyrazolsulfuron-ethyl 0.05% GR과 Imazoulfuron 0.25% GR 등 3종을 선정하였다.

저항성정도 차이를 밝히기 위하여 각 초종별 2엽기에 이들 3종의 제초제를 감수성 생태형에 1.25~10 g ai/ha 수준으로, 저항성생태형에 10~320 g ai/ha수준으로 각각 처리하였다. 처리 후 30일에 잔존한 지상부를 수확하여 60℃에 3일간 건조한 후 건물중을 측정하고 그 data에 기초하여 50% 생장 억제농도(GR₅₀)를 산출하였다.

나. Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 생태형간 생육반응 차이

1) 식물재료

Sulfonylurea계 제초제에 저항성으로 확인(권 등 2000)된 물달개비, 미국외꽃, 마디꽃, 알방동사니, 울챙고랭이 종자를 전남농업기술원과 전북 김제 포장에서 채취하였고, 감수성 종자는 최근 3년 동안 sulfonylurea계 제초제를 전혀 사용하지 않은 전남 농업기술원 휴경지 포장에서 채취하였다. 이들 종자는 사용 전까지 4℃ 냉장고에 보관하였다.

2) 발아율

물달개비를 포함하여 미국외꽃 마디꽃, 알방동사니 및 마디꽃의 생태형별 발아시험은 지름 6cm 크기의 페트리디쉬를 이용하여 완전임의배치 3반복으로 수행하였다. 종자는 페트리디쉬 당 100립을 파종하였으며 5ml 증류수를 넣은 후 잘 밀봉하여 주야간

30/20°C 온도와 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR 수준의 광을 14시간 동안 조사할 수 있는 생장상에 치상하였다. 발아율은 파종 후 6일에 조사하였으며 시험은 2회 연속 실시하였다.

3) 비 경합조건하에서 초종별 생태형간 생육특성 및 종자 생산량을 저항성과 감수성 종자를 pot에 파종하여 10일까지 온실조건에서 생육시킨 후 경합을 배제하기 위하여 pot당 각각 한 개체씩 이식하였다. 파종 후 10, 20, 30, 40, 50, 60 및 70일에 10일 간격으로 저항성 및 감수성 생태형의 초장 및 엽수를 조사하였고, 지상부를 수확하여 60°C의 건조기에 3일간 건조시킨 후 건물중을 조사하여 두 생태형간에 생장량 차이를 알아보았다. 수확기에는 저항성과 감수성 생태형의 종자 생산량을 조사하였다. 기타 재배는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 실시하였으며 주요 통계치는 SAS 프로그램(2000)을 이용하여 분산분석을 하였다.

4) 생태형간 광합성량

CO₂ 흡수로서 측정된 순 광합성량은 휴대용 적외선 가스 분석기(LI-6400, Li-Cor, Lincoln, NE)을 사용하여 결정하였다. 측정은 물달개비 본엽이 전개된 후 1, 2, 3엽으로 나누어 조사하였다.

5) 초종별 저항성 생태형에 의한 벼 생육 및 수량

본 시험은 2002년에 진년도에 sulfonyleurea계 제초제 저항성 잡초가 발생했던 전남 농업기술원 포장에서 수행하였다. 벼 품종은 일미벼를 사용하였고, 답수직파는 5월 15일에 최아된 종자 40kg/ha를 파종하였다. 파종 후 10일에 노난매(pyrazosulfuron + molinate)를 ha당 30kg을 처리하여 저항성 물달개비, 미국외풀, 마디꽃을 제외한 초종을 방제하였다. 시비량은 질소-인산-카리를 110-45-57kg/ha를 사용하였으며 질소분시는 기비-분얼비(5엽기)-수비를 40-30-30%로, 인산은 100%를 기비로, 그리고 카리는 기비-수비=70-30%로 분시하였으며 그 밖의 재배는 농촌진흥청 표준재배법(1996)에 준하여 실시하였다. 벼 후기 생육 및 수량은 무경합구를 대조로 비교하였으며 Data의 통계처리는 SAS 프로그램(2000)을 이용하여 분산분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 초종별 생태형간 sulfonylurea계 제초제 반응

제초제 저항성잡초는 감수성생태형과 형태적으로는 유사하기 때문에 육안으로 구별하기는 어렵다. 따라서 동일 초종에 대한 생태형간 생육 차이를 구명하기 앞서 저항성여부를 정확하게 판정하는 것이 중요하다고 하겠다. 따라서 Sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 여부를 밝히기 위하여 전남농업기술원 수도포장에서 1997년부터 방제가 잘되지 않은 물달개비를 포함해 미국외플 및 마디꽃 등을 2.0엽기까지 생육시킨 후 3종의 Sulfonylurea계 제초제를 처리하였다(표 1, 사진 1).

Table 1. Response of *M. vaginalis*, *L. dubia* and *R. indica* in resistant (R) and susceptible (S) biotypes to sulfonylurea herbicides.

Weed species	Herbicide	GR ₅₀ (g ai/ha) ^a		
		R-biotype	S-biotype	R/S ratio
<i>M. vaginalis</i>	Bensufuron-methyl	56.0	1.8	31
	Pyrazosulfuron-ethyl	3.7	0.5	7
	Imazosulfuron	1586.0	0.5	3172
<i>L. dubia</i>	Bensufuron-methyl	-	-	-
	Pyrazosulfuron-ethyl	75.5	4.0	19
	Imazosulfuron	1192.3	4.4	264
<i>R. indica</i>	Bensufuron-methyl	132.0	2.2	60
	Pyrazosulfuron-ethyl	42.0	0.6	70
	Imazosulfuron	677.0	2.9	233

^aGR₅₀ values were herbicide concentrations that reduced shoot dry weight by 50%, calculated from the regression equations.



Photo. 1. Occurrence of *M. vaginalis*, *L. dubia* and *R. indica* survived from the paddy fields treated with sulfonylurea herbicide-based mixtures in wet seeding and transplanting.

이들 초종별 저항성 검정의 결과를 보면 물달개비 감수성 생태형 경우 bensulfuron-methyl, pyrazosulfuron-ethyl 그리고 imazosulfuron에 의한 50%생육억제농도(GR₅₀)는 각각 1.8, 0.5, 0.5g ai ha⁻¹인 반면에 저항성 생태형은 56.0, 3.7, 1586g ai ha⁻¹으로 저항성 생태형과 감수성 생태형간 차이는 이들 Sulfonylurea계 제초제에 따라 각각 31, 7, 3, 172배의 차이를 보였다.

미국외풀의 경우도 물달개비와 유사한 경향으로 pyrazosulfuron과 imazosulfuron처리에서 저항성 생태형과 감수성 생태형간 차이는 각각 19, 264배 차이를 보였고, 마디꽃도 bensulfuron, pyrazosulfuron 그리고 imazosulfuron 처리에서 저항성 생태형과 감수성 생태형간 차이는 각각 60, 233배 차이를 보였다.

Sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 물달개비는 azimsulfuron, bensulfuron-methyl 및 pyrazosulfuron-ethyl의 추천량 및 배량 처리로도 방제되지 않았으며(권 등 2000), 황 등(2001)도 pyrazosulfuron-ethyl을 ha당 5g 처리함으로써 감수성 물달개비의 생장을 90% 이상 억제하나, 저항성 물달개비는 10g 처리에서도 정상적으로 생장하였으며, bensulfuron-methyl을 처리할 경우에는 40g을 처리해도 저항성 물달개비는 방제가 되지 않는다고 하였다. 미국외풀도 bensulfuron-methyl과 pyrazosulfuron-ethyl의 추천량으로 감수성 생태형은 완전방제가 가능하였으나 저항성은 전혀 방제되지 않았다고 하였다(박 등 2001).

나. Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 생태형간 생육반응 차이

1) 발아율

물달개비를 포함해 미국외플 및 마디꽃의 생태형별로 종자를 파종한 후 시간 경과 이후별로 발아율을 그림 1에 나타내었다. 물달개비의 경우, 저항성 생태형은 파종 후 2일부터 발아하기 시작하였으며 감수성 생태형의 발아는 파종 후 3일째로 저항성 생태형이 감수성 생태형 보다 다소 빠른 발아세를 보였으며 파종 후 7일에 발아율도 높은 경향을 보였다(그림 1A). 그러나 미국외플의 경우 저항성 및 감수성 생태형 모두 파종 후 1일부터 발아하기 시작하였으나 발아세나 발아율의 차이는 거의 없었다(그림 1 B). 또한 마디꽃도 파종 후 1일부터 발아하였으며 발아세는 파종 후 2일부터 저항성 생태형이 감수성 생태형 보다 뚜렷하게 빨랐고 발아율도 조사시기에 관계없이 높은 경향을 보였다(그림 1C). 이와 같은 결과로 볼 때, 논에서 발생하는 잡초가 특정 제초제에 저항성이 되더라도 초종에 따라 생태형간 발아특성은 서로 다를 것으로 생각되며 Sulfonylurea계 저항성인 물달개비와 마디꽃은 미국외플과 달리 감수성 생태형 보다 우수한 발아 특성을 지녔음을 알 수 있었다.

Triazine에 감수성인 배추(*Brassica campestris*)는 저항성 생태형 보다 12-18시간 빨리 발아하였으나(Mapplebeck et al. 1982) Sulfonylurea계 제초제에 저항성인 가시상치는 오히려 감수성 생태형보다 빨리 발아하였다(Alcoer-Ruthing et al. 1992). 또한 Thompson 등(1994)은 Sulfonylurea계 제초제에 대한 답싸리 저항성의 발아율은 18℃ 이하 저온에서는 감수성 생태형보다 높았으나 온도가 증가할수록 차이는 없었다고 하였고, Sulfonylurea계 제초제 저항성 올챙고랭이도 30℃보다 15℃에서 저항성 생태형의 발아율이 감수성 생태형 보다 뚜렷하게 높았다고 하였다(Kohara 등 2001). Sanders 등(1994)도 저항성 알방동사니 생태형의 발아율이 감수성 생태형 보다 높을 뿐만 아니라 한 세대 소요일수도 저항성 생태형이 감수성 생태형 보다 짧게 나타났다(국 등 2002). 또한 박 등(2002)은 저항성 물옥잠 생태형의 발아율이 감수성 생태형 보다 파종 후 10일까지는 높았으나 12일 후부터는 차이가 없었고, 50% 발아되기까지의 소요일수는 저항성 생태형이 6.6일이었으나 감수성 생태형은 7.8일로 1.2일 정도 빠르다고 하였다. 그러나 Smith 등(1991)은 동일 Sulfonylurea계 제초제 저항성 가지상치 저항성 생태형의 발아율은 감수성 생태형 보다 낮게 나타났다고 보고 하였다.

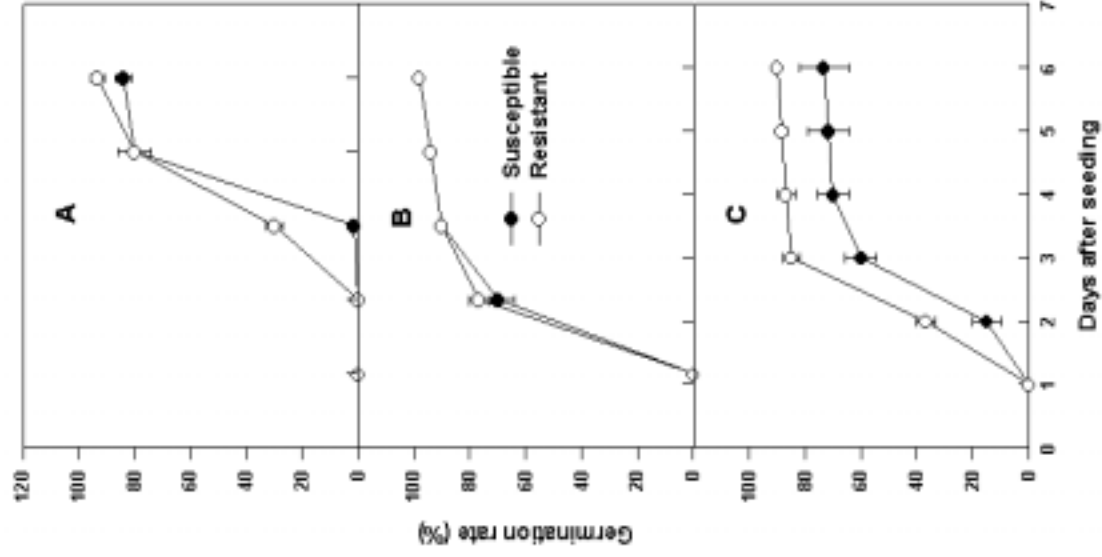


Figure 1. Germination rates of sulfonyleurea-resistant and susceptible *M. vaginalis* (A), *L. dubia* (B), and *R. indica* (C) in petri dish. Values are the mean \pm SE of three replicates.

이와 같이 Sulfonyleurea계 제초제에 대한 초종별 생태형간 발아율 차이가 다르게

나타난 것은 잠초가 저항성화 과정에서 외부의 여러 가지 선택압에 대하여 서로 다른 생존반응으로 적응하기 때문으로 생각된다.

2) 비 결합조긴하에서 초종별 생태형간 생육특성

그림 2, 3 및 4는 비 결합조긴하에서 물달개비, 미국외풀 및 마디꽃의 생태형간 생육차이를 밝히기 위해 받아들여진 종자를 포트에 파종(이식) 후 경과일수별로 개체당 초장, 엽령 및 건물중의 변화를 나타낸 것이다. 물달개비와 미국외풀은 생태형에 관계없이 초장은 이식 후 20일경에 급격히 신장하였으며, 엽수는 완만하게 증가하였고 지상부 건물중은 이식 후 40일경에 크게 증가하였다(그림 2, 3). 그러나 물달개비 생태형간 생육특성 차이는 거의 없었고 미국외풀의 경우, 조사형질 중 엽수와 건물중의 차이는 적었으나 초장은 이식 후 35일부터 감수성이 저항성 보다 다소 커지는 경향을 보였다. 또한 마디꽃의 초장과 지상부 건물중도 물달개비와 미국외풀과 마찬가지로 시간이 경과됨에 따라 완만하게 증가하였고, 엽수는 매우 빨리 진전되었으나 생태형간 차이는 없었다(그림 4). 이와 같은 결과는 비록 이들 잠초가 *Sulfonylurea*계 제초제에 저항성화 되었다더라도 작물인 벼와의 경합특성이 감수성 생태형과 유사할 것으로 생각되나 추후 생태형별 광 이용효율 및 질소 흡비력 차이에 관한 시험이 이루어져야 하며, 또한 다양한 환경조건하에서 이들 잠초의 생태형들에 관한 발아력, 생장, 경합력 및 종자생산능력 등의 차이도 밝혀야 할 것으로 사료된다.

Wiederholt and Stoltenberg(1996)는 acetyl-coenzyme A-carboxylase(ACCase) 억제제 저항성인 왕바랭이의 종자생산량은 감수성 생태형과 차이가 없다고 하였으며 organic arsenical 제초제에 저항성인 Common cocklebur (*Xanthium strumarium L.*)도 상대생장량, 지상부 건물중 및 종자생산량 등이 감수성 생태형과 차이가 없다고 하였다(Haigler et al. 1994). 또한 박 등(2002)은 물옥잠의 생태형간 생체중은 저항성 생태형이 감수성 생태형 보다 전 생육기간 동안 높았으며 파종 후 50일에 저항성 및 감수성 생태형의 개체당 생체중이 각각 9.8g과 8.2g으로 나타나 저항성 생태형이 20% 정도 빨리 생장한다고 하였다. 그러나 국 등(2002)은 알방동사니의 생태형은 비경합조건하에서 초장, 엽령 및 건물중은 유의적인 차이가 없다고 하였고 Ruthling 등(1991)은 제초제에 대한 잠초 생태형간 건물중 차이는 초종에 따라서 다르다고 하였다.

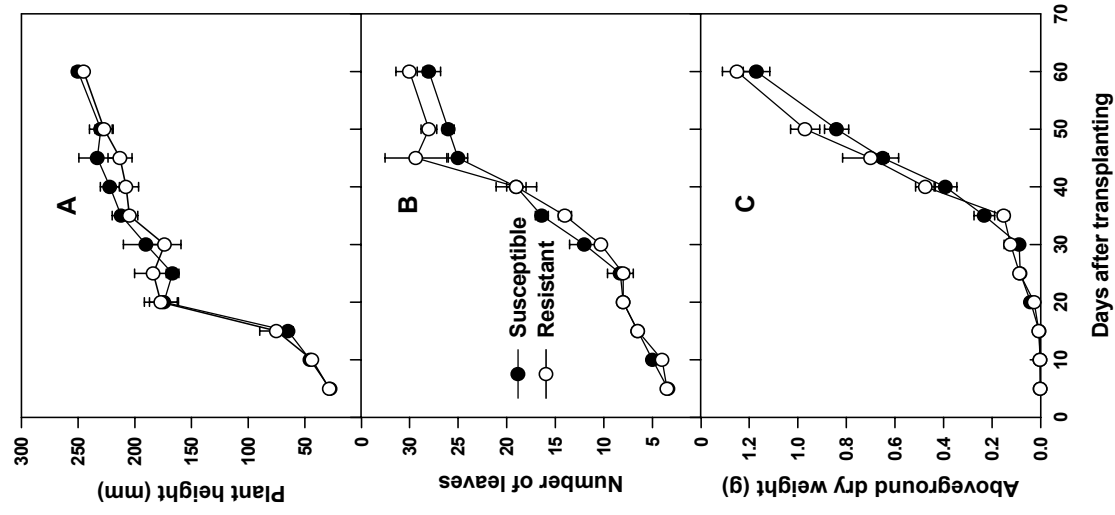


Figure 2. Plant height (A), number of leaves (B), and aboveground biomass (C) of sulfonyleurea resistant and susceptible *M. vaginalis* under noncompetitive conditions in a greenhouse. Values are the mean \pm SE of three replicates.

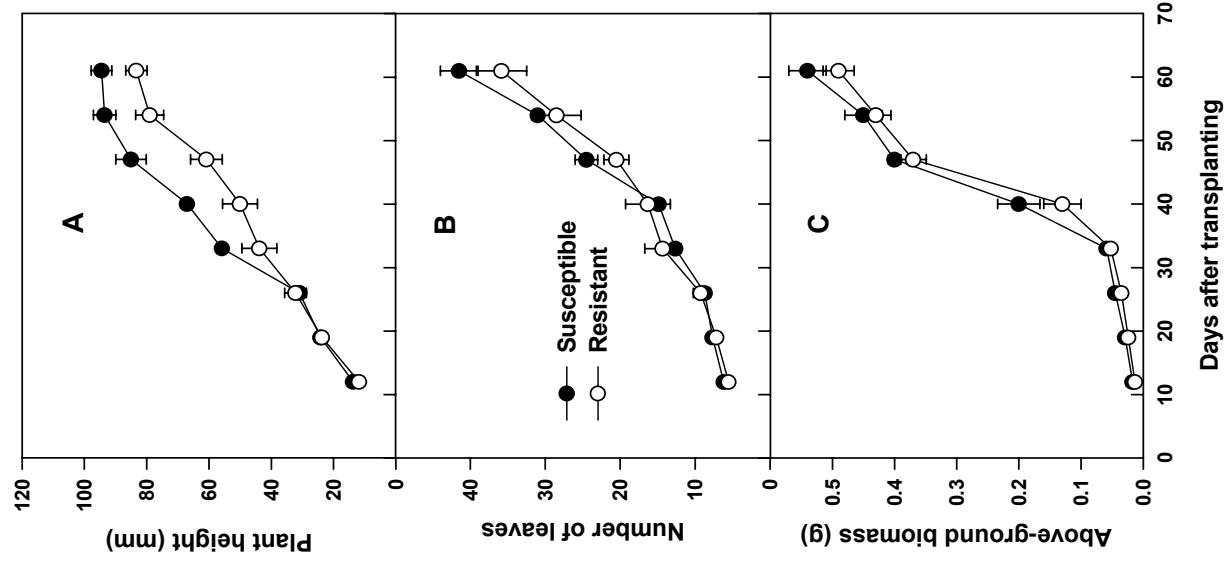


Figure 3. Plant height (A), number of leaves (B), and aboveground biomass (C) of sulfonylurea resistant and susceptible *L. dubia* under noncompetitive conditions in a greenhouse. Values are the mean \pm SE of three replicates.

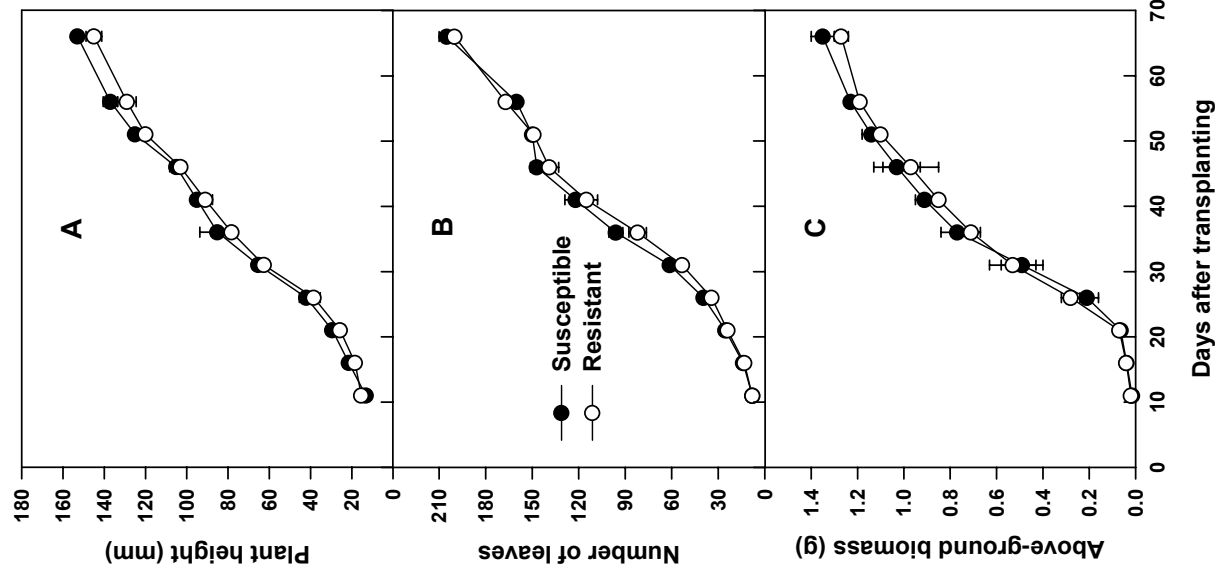


Figure 4. Plant height (A), number of leaves (B), and aboveground biomass (C) of sulfonylurea resistant and susceptible *R. indica* under noncompetitive conditions in a greenhouse. Values are the mean \pm SE of three replicates.

은실 실험에서 저항성과 감수성 알방동사니 생태형의 발아율, 엽수, 초장, 지상부 생체중에는 차이가 없었다(Figure 5). 이와 동일한 결과는 SU계 저항성 물달개비 (Kuk et al. 2003)와 *Kochia scoparia*(Cristoffoleti et al. 1996)에서도 관찰되었다. 그러나 저항성 알방동사니 생태형은 감수성 생태형보다 약 1주일 개화가 지연되었다 (Table 2). 또한 저항성 알방동사니 생태형의 종자생산량은 감수성 생태형에 비해 적었다. 저항성 생태형에서 왜 개화가 지연되고 종자생산량이 적은지에 대한 연구가 또 장조건에서 더 수행해야 할 것이다.

그러나 물달개비의 경우는 저항성과 감수성 생태형간에 종자생산량에는 차이가 없었다(Figure 6). 저항성과 감수성 물달개비 생태형간에 CO₂ 동화율을 조사하기 위하여 본엽이 3엽까지 생육하여 조사하였다(Figure 7). 감수성 생태형에 비해 저항성 생태형에서 훨씬 CO₂ 동화율은 적었다. 또한 1엽보다는 2엽과 3엽으로 진전될수록 CO₂ 동화율은 많았다. 이러한 결과는 앞의 비 경험적인 조건하에서 저항성과 감수성 생태형간에 성장차이가 없었던 결과와 상반되었다. 따라서 포장조건에서도 이러한 현상이 발생하는지 추후에 검토되어야 할 것이다. 그 밖의 미국의풀과 마디꽃은 잎이 적어서 CO₂ 동화율을 조사하기가 어려웠다.

앞에서 언급한 저항성 잡초들과 달리 올챙고랭이는 저항성과 감수성 생태형간에 형태와 생장에서 차이를 보였다(Table 3). 파종 후 35일에 저항성 생태형의 평균 지상부 생체중은 식물당 62mg이었고, 감수성 생태형은 식물당 37-39mg을 보였다. 한편, 파종 후 25일과 35일에 저항성 생태형의 초장은 감수성 수집종들 보다 컸다. 이런 결과는 저항성 생태형이 감수성 수집종들 보다 더 경합적임을 의미한다. 본 연구와 유사하게 Kohara (2001) 등은 SU계 제초제 저항성 올챙고랭이가 감수성 수집종들 보다 유의적으로 발아율이 높았다고 보고 하였다. 저항성과 감수성 수집종간에 발아율의 차이는 30°C보다 15°C에서 더 뚜렷하였다.

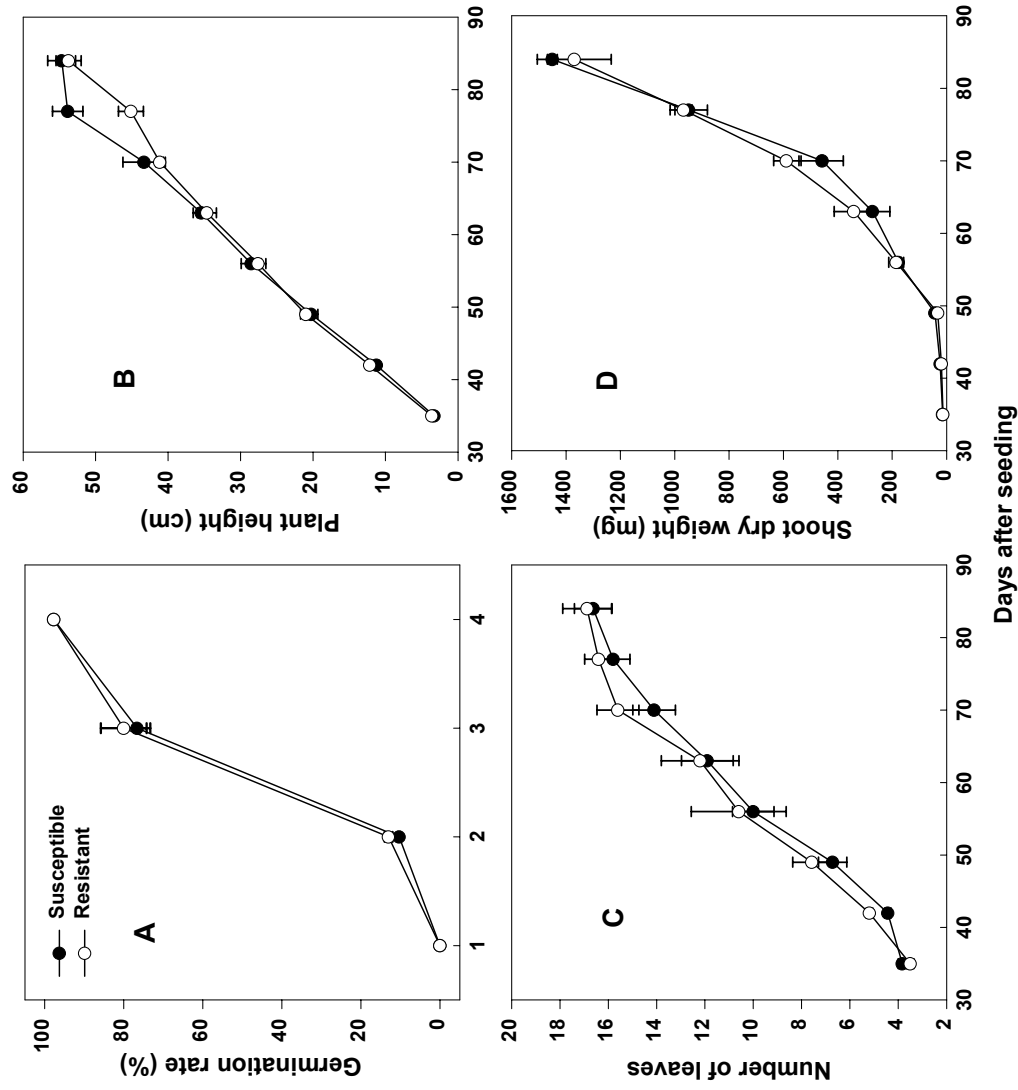


Figure 5. Germination rate (A), plant height (B), number of leaves (C), and shoot dry weight (D) overtime of the susceptible (S) and resistant biotypes of *C. diffiformis* under noncompetitive conditions in the greenhouse.

Table 2. Flowering period and amount of seed formation in the susceptible (S) and resistant (R) biotypes of *C. difformis* under noncompetitive conditions in the greenhouse.

Flowering period (days after seeding)		Amount of seed formation (mg / plant)			
S	R	LSD0.05	S	R	LSD0.05
72.8	80	2.69	132.9	85.8	40.4

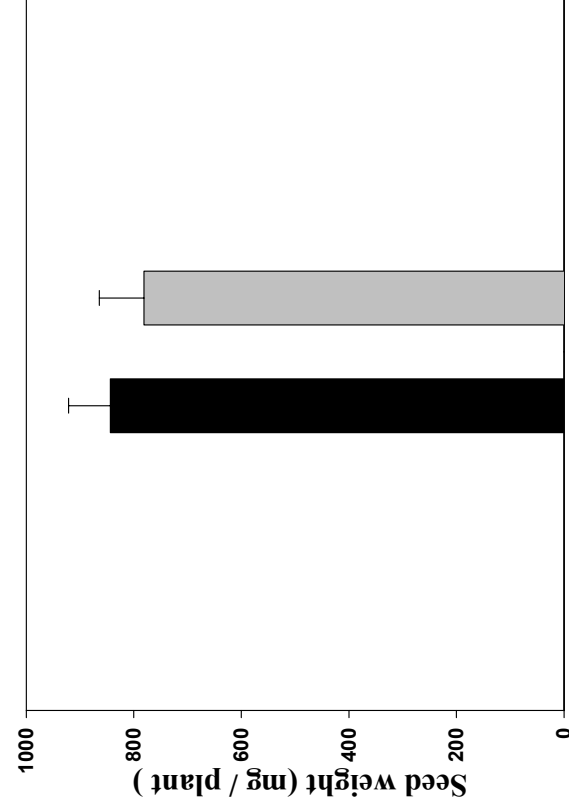


Figure 6. Amount of seed formation in the susceptible (S, left) and resistant (R, right) biotypes of *M. vaginalis* under noncompetitive conditions in the greenhouse.

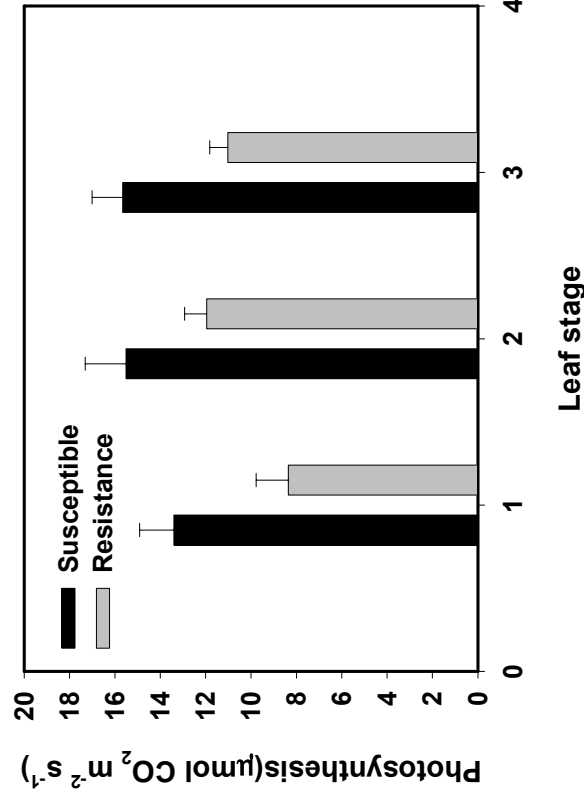


Figure 7. The CO₂ assimilation rate in susceptible and resistant biotypes of *M. vaginalis*.

Table 3. Plant height and shoot fresh weight of susceptible and resistant accessions of *S. juncooides* under noncompetitive conditions in the greenhouse.

Accession	Plant height		Shoot fresh weight (mg plant ⁻¹)
	25 DAS	35 DAS	
Susceptible 1	2.2b	4.9b	39b
2	2.6b	5.2b	37b
3	2.6b	5.2b	39b
4	2.5b	5.3b	38b
Resistant 1	4.3a	9.0a	62a

^aMeans within a column followed by the same letter are not significantly at the 1% level

according to the LSD test.

^bDAS, day after seeding

3) 초종별 저항성 생태형에 의한 벼 생육 및 수량

저항성잡초 물달개비, 미국외풀 및 마디꽃이 우점된 답수직파 포장에서 Sulfonylurea계 혼합제인 pyrazosulfuron-ethyl+molinolate를 처리한 후, 이들 잡초의 방제효과와 제초제 처리 후 살아남은 각각의 초종들이 벼 후기생육 및 수량에 미치는 영향을 조사하였다. 벼 종자 파종 후 70일에 발생한 물달개비, 미국외풀 및 마디꽃의 발생본수는 m²당 각각 970, 328, 514본이었으며 건물중은 250, 169, 50g/m²을 보여 무처리구와 비슷하였으며, 초종별 방제효과는 각각 8, 20, 23% 정도로 매우 낮아(표 4) 벼와 이들 잡초의 경합력은 물달개비> 미국외풀> 마디꽃 순으로 클 것으로 생각된다.

표 5에서는 관행제초제 pyrazosulfuron-ethyl+molinolate 처리 후 생존된 초종들이 벼 후기 생육과 수량에 미치는 영향을 조사한 결과, 초종에 관계없이 손제초구에 비해 간장은 다소 짧아진 반면에 수장의 차이는 없었다. 또한 수량구성요소중 수수와 수당립수의 감소가 뚜렷하였으며 초종별로는 물달개비> 미국외풀> 마디꽃 순으로 큰 경향을 보였으나 친립중과 등숙율의 차이는 유의성이 없었다. 이로 인해 손제초구에 대한 벼의 수량은 저항성 물달개비, 미국외풀, 마디꽃에 의해 각각 65%, 44%, 35% 감소하였다.

일반적으로 울방개, 올챙고랭이, 골풀 등과 같은 초형의 잡초에 의한 벼의 종간경합해가 생장면에서 크지 않은 것으로 표현되지만(荒井 등 1956, 구와 히 1985, 岩崎 등 1980) 구와 히(1989)는 올챙고랭이 종내 및 종간경합을 검토한 결과, 종내경합은 벼와 올챙고랭이 혼식보다는 올챙고랭이 단식구에서 더 빨리 일어나며 종간경합은 벼 이식 밀도가 높을수록, 작기가 늦어질수록 작아진다고 하였다. 또한 벼와 물달개비와 경합에서도 물달개비 경합밀도가 1본에서 3본으로 증가됨에 따라 벼 건물중은 최고 37%까지 감소되었고 광합성효율과 수량도 현저히 떨어졌으며 수수와 수당립수의 감소가 수량이 떨어지는데 주 요인들이었다고 보고하였다(박 등 1985). 한편 강과 김(1978)은 벼와 너도방동사니의 경합에서 수수가 조 등(1988)도 수수와 영화수가 수량에 영향을

미친다고 하였고, 野田(1971)은 수도와 피의 경합에서 수수와 천립중의 감소가 수량의 감소를 가져온다고 하여 벼는 잡초종에 관계없이 수수와 수당립수에 가장 영향을 미

Table 4. Effects of soil-applied herbicides on resistant *M. vaginalis*, *L. dubia*, and *R. indica* in direct-seeded rice culture. The herbicide was applied to 2-leaf stage weeds. Parameters were recorded at 70 days after direct seeding.

Weeds	Weed control treatment	Rate (g ai ha ⁻¹)	No. of individual (m ⁻²)	Shoot dry weight (g m ⁻²)	Herbicide efficacy ^a (%)
<i>M. vaginalis</i>	Pyrazosulfuron-ethyl+molinate	21 + 1500	970	250	8
	Hand weeding	20, 40 DAS ^b	0	0	100
	Untreated control	-	987	272	0
<i>L. dubia</i>	Pyrazosulfuron-ethyl+molinate	21 + 1500	328	169	20
	Hand weeding	20, 40 DAS	0	0	100
	Untreated control	-	347	211	0
<i>R. indica</i>	Pyrazosulfuron-ethyl+molinate	21 + 1500	514	50	23
	Hand weeding	20, 40 DAS	0	0	100
	Untreated control	-	505	65	0

^a Efficacy represents percentage on reduction of shoot dry weight.

^b DAS = days after seeding.

Table 5. Yield of rice as affected by competition with surviving resistant biotypes of *M. vaginalis*, *L. dubia*, and *R. indica* in direct-seeded rice culture. The herbicide was applied to 2-leaf stage weeds.

Weeds	Herbicide	Rate (g ai ha ⁻¹)	Clum length (cm)	Panicles length (cm)	Panicles (No. m ⁻²)	Spikelets per panicle	Ripened grain (%)	1,000 grain (g)	Yield (kg 10a ⁻¹)	Yield index
<i>M. vaginalis</i>	PM	21 + 1500	68b	19a	150b	60b	90a	23.0a	235b	35
	HW	20, 40 DAS ^a	73a	20a	380a	93a	91a	23.2a	677a	100
	UC	-	67b	20a	140b	61b	90a	23.5a	228b	34
<i>L. dubia</i>	PM	21 + 1500	70b	20a	244b	66b	90a	23.1a	385b	56
	HW	20, 40 DAS	75a	20a	353a	91a	91a	23.2a	687a	100
	UC	-	69b	20a	235b	60b	91a	23.4a	339b	49
<i>R. indica</i>	PM	21 + 1500	68b	20a	261b	71b	91a	23.0a	434b	65
	HW	20, 40 DAS	73a	19a	372a	92a	90a	23.4a	666a	100
	UC	-	68b	20a	260b	74b	92a	23.0a	395b	59

^a DAS = days after seeding.

^b Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 1% according to the LSD test.

^cPM=pyrazosulfuron-ethyl+molinate, HW=hand weeding, UC=untreated control.

처 수량감소가 발생되는 것으로 나타났다. 또한 김 등(1984)은 사마귀풀, 물달개비와 울창고랭이가 우점된 기계이앙답과 손이앙답의 잡초수와 발생량에 따른 수량감수정도를 조사하였던 바, m²당 500본일 때 약 14~15%, 1,000본일 때 20~21%의 수량감소를 초래했으며, 잡초발생량이 m²당 250g일 때 약 24~30%, 300g일 때 26~32%의 수량감을 가져온다고 하였다.

한편, 아직까지 Sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초와 벼의 중간 경합에 의한 작물 피해정도에 관한 보고는 그리 많지 않다. 그러나 권 등(2002)에 의하면 Sulfonylurea계 저항성물달개비의 경합으로 담수직파 벼는 약 70%, 이앙재배 벼는 44% 정도 수량을 감소가 되기 때문에 담수직파재배에서는 파종 후 31일, 이앙재배에서는 이앙 후 45일에 방제되어야 한다고 하였다. 또한 물옥잠의 경우도 담수직파와 이앙재배에서 밀도를 달리한 중간 경합에서 물옥잠 밀도가 벼 생육억제 및 수량감소는 3주부터 감소되었으며 포트(32×42cm)당 3, 6, 9, 12주 재식밀도하에서 담수직파벼의 수량은 각각 23, 29, 35, 48% 감소되었으나 이앙재배에서는 19, 24, 29, 34%가 감소되어 이앙재배 보다 담수직파에서 그 정도는 크다고 하였다(박 등 2002). 또한 Primiani 등(1990)은 chlorsulfuron 저항성 잡초리(*Kochia scoparia*)가 미국의 봄밀 밭에 m²당 5, 7, 20, 84주씩 발생되었을 때 수량 감수율이 각각 15, 22, 30, 58%로 나타났다고 보고하였다.

이상의 결과들로 볼 때, 본 시험의 결과와 마찬가지로 저항성잡초의 발생은 벼 생육과 수량에 큰 피해를 주고 있으므로 보다 철저한 관리와 이에 대한 대비를 해야 할 것으로 생각된다.

4. 결과 요약

Sulfonylurea계 제초제 저항성과 감수성 물달개비, 미국외풀 및 마디꽃의 생장량 차이와 이들 저항성 잡초의 경합에 의한 벼의 수량감소를 알아 보기 위하여 온실과 포장실험을 수행하였다. 발아율은 생장상에서 파종 후 6일 동안 조사하였으며, 온실의 비경합조건에서 저항성 및 감수성 잡초종들의 초장, 엽수 및 지상부 건물중을 이식 후 65일 동안 1주일 간격으로 조사하였다. 포장에서 각각의 저항성 잡초와 벼와 경합을 유도한 후 수확기에 벼의 수량과 수량구성 요소를 조사하였다. Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비와 마디꽃의 발아율은 감수성 생태형보다 높았으나 미국외풀은 저항성과 감수성 생태형간에 차이가 없었다. 비경합조건하에서 sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 물달개비, 미국외풀 및 마디꽃의 초장, 엽수 및 지상부 건물중은 미국외풀의 초장을 제외하고는 차이가 없었다. 따라서 저항성과 감수성 생태형간에 경합력은 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 벼 담수직파제배에서 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 합제를 처리하고 생존한 저항성 물달개비, 미국외풀 및 마디꽃에 의한 벼의 수량은 손제초구에 비해 각각 65%, 44% 및 35% 감소하였으며, 수량구성요소 중 주로 수수와 수당임수의 감소가 컸다.

제4절 Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비 생태형의 경합 기간 및 밀도별 벼의 생장 및 수량

1. 서 언

우리나라에서는 1980년대 후반부터 일년생 및 다년생잡초를 동시에 방제할 수 있는 sulfonylurea계 제초제가 보급되기 시작하였다. 이들 제초제는 적은 약량으로도 살초 스펙트럼이 넓으며, 또한 동물에 대한 안정성이 높은 특징 때문에 빠른 속도로 이용 면적이 확대되었다(Caroline 1991). 그러나 sulfonylurea계 제초제는 일년생 잡초인 피 등을 방제하지 못해 주로 sulfonylurea계 혼합제가 사용되고 있다. 이와 동시에 담수 표면직과 벼 재배면적이 남부지방을 중심으로 점차 늘어남에 따라 이에 적용 가능한 제초제의 제한으로 sulfonylurea계 제초제 혼합제 사용이 계속적으로 증가할 수밖에 없었다. 이와 같이 동일 작용기작을 가진 제초제를 매년 사용함에 따라 제초제 저항성 잡초가 출현하게 되었다.

세계적으로 지금까지 보고된 저항성잡초는 156종에 260생태형이며 이들 중 sulfonylurea계와 같은 acetolactate synthase(ALS) 저해 제초제에 74종이 저항성으로 보고되었고, 주로 이들 잡초는 발잡초가 대부분이었다(Heap 2002). 그러나 우리 나라 와 벼 재배양식과 제초제 사용 경향이 유사한 일본에서는 1995년 이래 논에서 sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초가 출현하고 있고 현재까지 확인된 저항성 잡초는 물옥잠을 비롯하여 미국외풀, 발뚝외풀, 논뚝외풀, 논뚝외말, 물별, 올챙고랭이 및 마디꽃 등이며 이들 잡초의 저항성 생태형는 감수성 생태형에 비해 수심 배에서 수백 배에 차이를 보인다고 하였다(Itoh 등 1997; Itoh 등 1998; Kohara 등 1998; Wang 등 1997; Wang 등 2000).

우리나라에서도 현재 일년생과 다년생잡초를 동시에 방제할 수 있는 sulfonylurea계 혼합제초제가 전체 논 제초제 품목의 약 70%를 차지하고 있으며(농약사용지침서 2000), 특히 담수직파재배 벼에서는 이들 제초제가 대부분을 차지하고 있어 계속적으로 사용할 수밖에 없는 실정이다. 이로 인해 우리나라에서도 1999년에 시행한 간척지에서 발생한 물옥잠(Park 등 1999)이 처음으로 저항성잡초로 보고된 이후로 물달개비

(Kwon 등 2000), 미국외플(박 등 2001), 마디꽃(Kuk 등 2002) 등 일년생 광엽잡초가 저항성 잡초로 확인되었다. 이들 저항성 잡초의 발생원인은 담수직파제배 비에 적용 가능한 sulfonylurea계 제초제와 혼합제로 사용한 파트너 제초제(예, molinate)가 광엽 잡초에 효과가 적고, 파종 및 이앙 전 처리 등 체계처리가 적어, 결국은 sulfonylurea계 제초제 연용의 결과를 초래하여 sulfonylurea계 제초제에 저항성이 출현하는 것으로 추정할 수 있다.

따라서 이러한 저항성 잡초 출현은 비와 경합으로 인하여 비 수량 감소가 발생할 것이다. 작물과 잡초와의 경합능력은 비와 잡초의 발생밀도, 생육시기, 생장율, 초종, 품종, 잡초의 출현시기 및 시비수준 등에 의해 크게 영향을 받으나 이 가운데에서도 밀도가 가장 큰 요인으로 알려져 있다(김과 Moody 1980). 최근에 문체시되는 sulfonylurea계 제초제 저항성잡초는 관행적으로 sulfonylurea계 혼합제를 처리한 경우 대부분 잡초는 방제되고 저항성 잡초만 생존하여 군락을 형성하기 때문에 그 밀도는 상상을 초월한 m^2 당 1,000여 개체이상 발생한 포장(예, 전남농업기술원 포장)들이 최근 발견되고 있어 기존에 잡초경합시험에 사용한 밀도와 차이가 있다 하겠다.

따라서 본 연구는 sulfonylurea계 혼합제 처리 후에 생존한 저항성 물달개비 생태형 밀도와 비와 경합기간에 따른 비의 생육 및 수량에 미치는 영향을 평가하여 저항성 잡초의 적정 잡초방제 한계기간을 설정하기 위해 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 물달개비 생태형간의 생장량 반응
Sulfonylurea계 제초제에 저항성으로 확인(Kwon 등 2000)된 물달개비 종자는 전남 농업기술원 포장에서 채취하였고, 감수성 종자는 최근 3년 동안 sulfonylurea계 제초제를 전혀 사용하지 않은 전남농업기술원 휴경지 포장에서 채취하였다. 이들 종자는 사용 전까지 4℃ 냉장고에 보관하였다.

저항성과 감수성 종자를 pot에 파종하여 10일까지 온실조건에서 생육시킨 후 경합을 배제하기 위하여 pot당 각각 한 개체씩 이식하였다. 파종 후 10, 15, 20, 40, 55, 70

및 76일 간격으로 저항성 및 감수성 생태형을 수확하여 60°C의 건조기에 3일간 건조시킨 후 건물중을 조사하여 두 생태형간에 생산량 차이를 알아보았다.

나. 재배양식별 경합기간에 따른 벼 생육 및 수량

본 시험은 2001년에 진년도에 sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비가 발생했던 전남농업기술원 포장에서 수행하였다. 벼 품종은 일미벼를 사용하여 답수직파는 5월 10일에 최아된 종자 40kg/ha를 파종하였으며 어린모 기계이앙은 10일된 묘를 사용하여 5월 14일에 이앙하였다. 이앙시 벼의 재식거리는 30 × 15cm로 하였다. 각각 파종 및 이앙 후 10일에 pyrazosulfuron + molinate를 ha당 30kg을 처리하여 저항성 물달개비를 제외한 초종은 방제하였다. 파종 및 이앙 후 24일부터 7일 간격으로 66일까지 7회와 그리고 벼의 전 생육기간까지 경합기간을 두어 무경합구를 대조로 벼 생육 및 수량구성요소와 수량을 비교하였다. 또한 동일시기에 물달개비 발생본수, 초장, 엽수 및 건물중 등을 조사하였다. 그 밖의 재배는 농촌진흥청 표준재배법(1983)에 준하여 실시하였다. 자료의 통계처리는 SAS 프로그램(2000)을 이용하여 분산분석을 하였다.

다. 답수직파재배에서 물달개비 발생밀도별 벼 생육

본 시험은 진년도에 sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비가 발생했던 전남농업기술원 포장에서 2003년에 수행하였다. 벼 품종은 일미벼를 사용하여 답수직파는 5월 10일에 최아된 종자를 10 × 10cm 간격으로 1립씩 손파종하여 m²당 100본으로 하였다. 물달개비 경합밀도는 m²당 0, 10, 25, 50, 75, 150본으로 하였다. 파종 후 40일, 50일, 60일에 초장과 분얼수를 조사하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였다. 그 밖의 재배는 농촌진흥청 표준재배법(1998)에 준하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

가. Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 물달개비 생태형간의 생산량 반응

먼저 저항성 및 감수성 생태형간에 경합능력에 차이가 있는지를 알아 보기 위하여

각각의 생태형을 파종하고 파종 후 10일에서 76일까지 일정한 간격으로 지상부 건물 중을 조사하였다(그림 1).

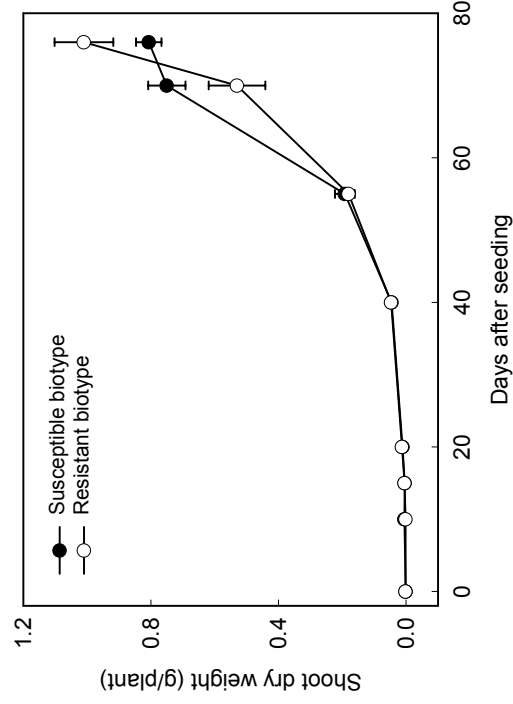


Figure. 1. Shoot dry weight over time of sulfonylurea-resistant and susceptible biotypes of *Monochoria vaginalis* under noncompetitive conditions in the greenhouse in 2001.

저항성과 감수성 생태형간의 발아율과 엽수는 차이가 없었다(자료 미제시). 발아율과 엽수에서와 유사하게 지상부 건물중에서도 두 생태형간의 차이가 인정되지 않았다. 따라서 두 생태형간의 경쟁능력에는 차이가 없을 것으로 사료되어 이후의 시험은 저항성 생태형이 출현한 포장을 사용하여 수행하였다.

나. Sulfonylurea계 저항성 물달개비의 발생밀도 및 생육특성

벼 재배양식에 따른 경합기간별 저항성 물달개비 발생밀도 및 생육변화를 조사하였다(표 1). 답수직파 재배양식의 경우, 파종 후 24일에서 66일 경합기간 동안 물달개비의 발생분수는 898~1,137본/m²로 경합기간간에 유의적인 차이는 볼 수 없었다. 이러한 점으로 미루어 볼 때, 저항성 물달개비는 일정기간 이내에 대부분 종자가 발아를 하는 준동시(Quasi-simultaneous) 발아형으로 보인다. 저항성 물달개비 초장은 파종

후 24~66일 경합기간 동안 3.8cm에서 22.6cm까지 성장하였으며 엽수도 4.9엽에서 12.4엽까지, 건물중은 16.9g에서 287.2g/m² 증가하여 경합기간이 증가할수록 생장량도 커지는 경향을 보였다. 그러나 벼 수확기(파종 후 146일)까지 생존한 저항성 물달개비 발생본수는 231본/m²이었으나 초장은 57cm까지 자랐고 이때 건물중은 419g/m² 정도였다. 이처럼 파종 후 146일 경합기간에서 물달개비 발생본수가 초기 경합에 비해 현저히 적었던 것은 경합초기에 발생밀도가 많아 물달개비 자체간의 종내경합으로 인하여 고사개체가 증가했던 것으로 해석된다.

Table 1. Changes in growth of *Monochoria vaginalis* as affected by competitive duration of resistant *Monochoria vaginalis* biotype to sulfonylurea herbicides with rice under different cultural methods..

Cultural method	Competitive duration	No. of individual /m ²	Height (cm)	Leaves (No./hill)	Dry weight (g/m ²)
Direct-seeded rice culture	24	962	3.8	4.9	16.9
	31	914	9.5	7.4	43.3
	38	1,137	15.5	10.6	121.2
	45	1,121	17.3	11.3	158.7
	52	898	17.8	11.2	170.8
	59	1,073	21.7	11.7	213.6
	66	1,097	22.6	12.4	287.2
	146	231	56.6	-	419.0
	LSD 0.05	244	2.1	2.5	17.5
Transplanted rice culture	24	1,185	5.3	5.8	20.7
	31	1,057	11.8	7.9	41.7
	38	954	16.2	10.5	86.8
	45	1,169	17.2	10.4	145.6
	52	1,073	22.0	11.7	167.3
	59	954	21.4	12.1	208.6
	66	1,121	22.7	12.7	277.9
	146	165	53.0	-	286.4
	LSD 0.05	239	3.5	2.3	15.9

이양재배 경우, 저항성 물탈개비의 생육특성은 결합기간 66일까지는 담수직파와 유사한 경향을 보였으나 벼 수확기(이양 후 146일)에 저항성 물탈개비 발생본수는 165본/m²만이 생존하였고 건물중은 약 286g으로 담수직파에 비해 생장량이 떨어지는 경향을 보였다. 이와 같이 이양재배에서 저항성 물탈개비의 생육이 담수직파에 비해 떨어지는 이유는 이양재배 벼는 담수직파재배 보다 빨리 canopy를 형성함으로써 햇빛을 차단시켜 동화물질의 합성저하를 가져온다는 김 등(1981)의 결과로 미루어 호광성인 물탈개비의 생육이 직파재배보다 이양재배에서 더 억제되었을 것으로 생각된다. 또한, 담수직파재배 보다 이양재배의 벼가 저항성 물탈개비 보다 양분경합이 유리했기 때문에 상대적으로 저항성 물탈개비의 생장이 억제되었을 것으로 추정된다.

다. 저항성 물탈개비 결합기간별 벼 생육 및 수량에 미치는 영향

담수직파재배와 이양재배 논에서 벼와 저항성 물탈개비 결합기간에 따른 벼 생육에 미치는 영향을 조사하였다(그림 2). 재배양식에 따른 벼 생장량은 이양재배보다 담수직파재배에서 크게 억제되었으며 벼 생육 형질 중 초장보다는 m²당 분얼수의 감소가 큰 경향을 보였다. 즉, 담수직파재배에서 벼 초장은 무경합구에 비해 결합기간 31일부터 15.5%가 감소하기 시작하여 66일에는 28.7%까지 감소되었고, m²당 분얼수도 24일부터 30.0%에서 52일에는 69.3%가 감소되었다. 한편 이양재배에서는 담수직파재배와 동일 결합기간에서 초장이 2.7~22.2%가 감소하였고, m²당 분얼수는 14.4~32.4% 감소되었다. 이와 같은 결과로 볼 때, 재배양식에 관계없이 저항성 물탈개비가 벼에 가장 피해를 주는 시기는 벼의 최고분얼기 전후(파종 후 45일과 이양 후 38일)로 사료된다(그림 2). 그러나 박 등(1985)은 이양재배 벼와 물탈개비와의 경합에서 물탈개비에 의한 벼 간장의 감소는 1~5%정도로 큰 차이가 없다고 하였으나 본 시험 결과의 66일간 결합에서 담수직파재배 벼의 간장이 28.7%, 이양재배에서는 22.2%가 감소한 결과와는 다소 차이가 있는데 이는 본 시험의 경우, 물탈개비 발생이 m²당 1,000본 전후로 예측하기 어려운 높은 밀도 때문으로 생각된다.

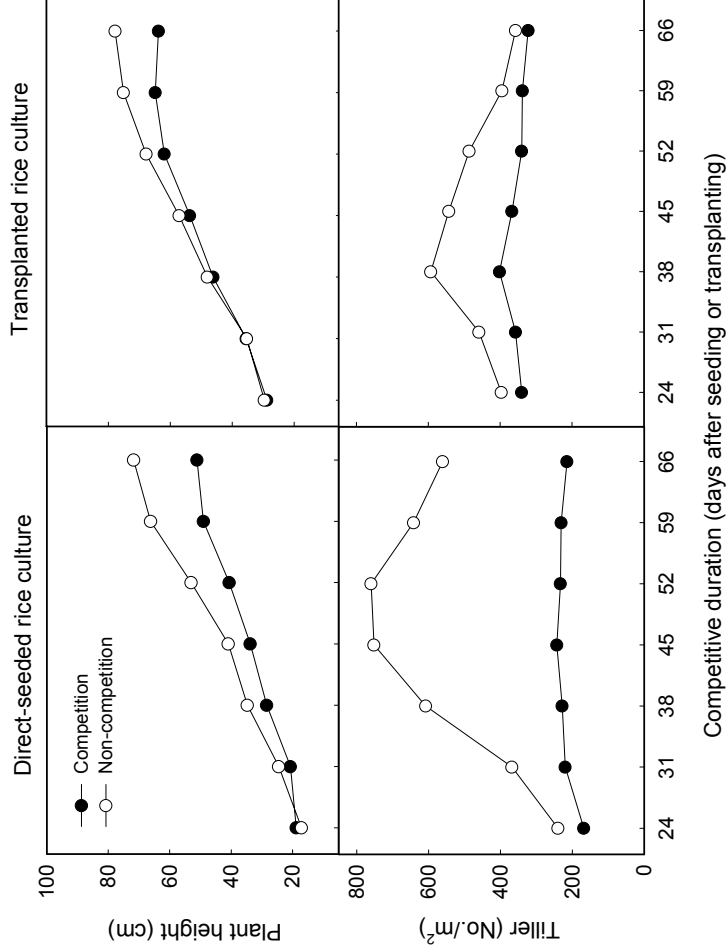


Figure. 2. Changes in height (cm) and number of tiller of rice as affected by competitive duration of resistant *Monochoria vaginalis* biotype to sulfonyleurea herbicides with rice in direct seeded and transplanted rice culture.

표 2는 담수직파재배에서 벼와 저항성 물달개비 경합기간에 따른 벼 수량 및 수량 구성요소에 미치는 영향을 조사한 결과로 벼와 저항성 물달개비의 두 식물의 경합으로 m²당 수수와 수량은 물달개비 경합기간이 증가함에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 보였으며 그 밖의 형질들은 차이가 없었다. 즉, m²당 수수는 무경합구의 388개에 비해 파종 후 38일 및 66일간 경합시켰을 때 304 및 189개로 각각 22% 및 51%가 감소하였다. 또한 저항성 물달개비를 벼의 전 생육기간(146일) 동안 방치할 경우 수수는 115개밖에 되지 않았으며 이로 인해 벼의 수량도 무경합구의 5.49 MT/ha에 비해 38일, 66일 및 146일 경합기간에서 4.68, 3.13, 1.64 MT으로 각각 14.7, 43.0 및 70.1%가 감소되어 경합기간이 증가할수록 수량 감소가 커지는 경향을 보였다. 따라서 쌀 수량

감소정도를 통계적 유의수준으로 고려하면 담수직파제배 논에서 발생한 저항성 물달개비 적정 방제한계기간은 파종 후 31일이 타당할 것으로 판단된다.

Table 2. Yield and its components of rice as affected by competitive duration of resistant *Monochoria vaginalis* biotype to sulfonyleurea herbicides with rice in direct-seeded rice culture.

Competitive duration	Spike (cm)	Culm (cm)	Panicles (No./m ²)	Spikelets per panicle (No.)	Ripened grain (%)	1,000 grain (g)	Yield (MT/ha)	Yield Index
0	68.0	21.9	388	92	93.9	23.2	5.49	100
24	64.4	21.5	375	88	91.5	23.1	5.40	98.4
31	63.8	21.6	343	92	92.6	23.1	5.30	96.5
38	64.1	21.7	304	94	91.8	23.1	4.68	85.3
45	62.7	21.2	245	93	92.5	22.9	4.00	72.9
52	62.8	20.3	237	87	92.8	22.5	3.42	62.3
59	62.7	21.2	189	89	91.7	22.5	3.02	55.0
66	62.6	20.5	189	90	91.6	22.0	3.13	57.0
146	64.5	20.4	115	90	92.8	22.3	1.64	29.9
LSD 0.05			30				0.69	

한편, 이양제배에서는 수량구성요소중 수장, m²당 수수와 수당입수 및 수량이 경합기간이 증가함에 따라 유의적으로 적어지는 경향을 보였다. 즉, 간장은 무경합구의 74.7cm에 비해 45일 및 66일 경합시켰을 때 각각 67.7 및 63.4 cm로 약 9% 및 15%가 감소하였으며 m²당 수수는 무경합구의 343개에 비해 302 및 298개로 12~13%가 감소하였다(표 3). 수당립수 또한 무경합구의 101개에 비해 45일과 66일 경합에서 각각 8.0%와 19.8%가 적어서 벼 수량이 각각 11.4% 및 36.7%가 감소되었다. 그러나 간장, 등숙율, 친립중 등의 차이는 거의 없었다. 저항성 물달개비를 벼의 진 생육기간 동안 방치할 경우, 간장은 무경합구에 비해 11.3cm가 적었으며, 수당립수는 20.7%가, m²당 수수는 30.6%가 적어 이로 인해 수량도 무경합구의 5.61 MT/ha에 비해 46%가

감소되는 경향을 보였다. 따라서 이양제배 논에서 발생한 저항성 물달개비 적정 방제 한계기간은 이양 후 45일로서 담수직파 제배 경우보다 14일이 지연되었다(표 2와 3).

Table 3. Yield and its components of rice as affected by competitive duration of resistant *Monochoria vaginalis* biotype to sulfonyleurea herbicides with rice in transplanted rice culture.

Competitive duration	Spike (cm)	Culm (cm)	Panicles (No./m ²)	Spikelets per panicle (No.)	Ripened grain (%)	1,000 grain (g)	Yield (MT/ha)	Yield Index
0	74.7	20.7	343	101	93.5	22.4	5.61	100
24	70.0	21.3	327	94	93.3	22.8	5.62	100
31	69.0	21.6	321	96	93.9	22.6	5.38	95.9
38	69.0	21.6	319	95	93.9	22.8	5.09	90.7
45	67.7	21.9	302	93	95.1	22.6	4.97	88.6
52	66.7	21.3	298	91	95.3	21.9	4.48	79.9
59	62.6	20.8	293	84	94.3	22.2	3.60	64.2
66	63.4	20.9	298	81	94.3	22.8	3.55	63.3
146	63.4	20.9	238	80	95.0	22.8	3.14	56.0
LSD 0.05			33				0.75	

이와 같은 결과로 볼 때, sulfonyleurea계 제초제 저항성 물달개비와 벼의 경합에서 경합기간에 따라 이양제배 보다 담수직파제배에서 경합피해가 크다는 것을 알 수 있었다. 특히 담수직파제배에서는 수량구성요소중 m²당 수수의 감소가 컸던 반면에 이양제배에서는 수당립수의 감소가 크게 나타났는데 이는 수수와 수당립수의 부의 상관관계로(이와 이 1976) 즉, 담수직파제배에서는 수수가 적은 대신 수당입수의 감소가 적었고, 이양제배에서는 수수의 감소가 적은 대신 수당립수의 감소가 컸기 때문이다. 박 등(1985)도 이양제배에서 벼 3주와 물달개비 3분을 경합했을 때 수수는 약 16%가, 수당입수는 26%가 감소되었다는 결과와 본 시험과 유사한 경향을 보였다. 한편 강과 김(1978)은 벼와 너도방동사니의 경합에서 벼의 수수가 감소한다고 하였으며 野田

(1971)은 벼와 피의 경합에서 수수와 천립종의 감소가 수량의 감소를 가져온다고 하여 벼는 감소종에 관계없이 수수와 수당입수가 가장 영향을 많이 받아서 수량감소가 발생되는 것으로 사료된다. 또한 김 등(1984)은 사마귀풀, 물달개비와 올챙고랭이가 우점된 기계이앙 논과 손이앙 논외 잡초 발생본수와 발생량에 따른 수량감소정도를 조사하였던 바, m²당 500본일 때 약 14~15%, 1,000본일 때 20~21%의 수량감소를 초래했으며, 잡초 발생량은 m²당 250g일 때 약 24~30%, 300g일 때 26~32%의 수량감을 가져온다고 하였다. 이 등(1987)도 적미의 수수가 m²당 300본일 때 50%의 수량감을 보여 본 시험에서 물달개비 단일 초종이 m²당 발생본수가 165본이고 발생량이 286g으로 46%의 벼 수량이 감소된 점으로 미루어 볼 때, 잡초 종구성이나 발생량의 차이에 따라 벼 수량에 미치는 영향이 다르다는 것을 알 수 있었다.

따라서 sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비 출현에 의한 벼의 수량감소는 불가피하므로 이러한 벼의 수량감소를 줄이기 위해서는 미연에 저항성 잡초 출현을 예방하고 저항성 잡초분포를 계속적으로 모니터링하여 더 이상 저항성 잡초가 전파되지 않도록 하고 제초제 처리 후 생존한 저항성 잡초는 담수직파제배 벼에서는 파종 후 31일 이내에 그리고 이앙제배 벼에서는 이앙 후 45일 이내에 제초제 체제처리가 되어야 할 것으로 생각된다.

라. 담수직파제배에서 물달개비 발생밀도별 벼 생육

담수직파제배 논에서 저항성 물달개비 경합밀도에 따른 벼 생육에 미치는 영향을 조사하였다(Table 4). 물달개비 경합밀도에 따른 벼 생장량은 초장보다는 m²당 분얼수의 감소가 큰 경향을 보였다. 즉, 벼 초장은 무경합구에 비해 m²당 150분에서만 단지 감소하였을 뿐 그 밖의 밀도에서는 차이가 없었다. m²당 분얼수는 경합밀도가 증가할수록 감소하였으나 m²당 150분에서는 23%가 감소하였다. 그러나 실제로 저항성 물달개비가 출현한 포장은 m²당 1,000분 이상이 발생되고 있다. 따라서 저항성 잡초종이 발생하는 포장은 이 보다 큰 벼의 생육 및 수량 감소를 초래할 것이다.

Table 4. Plant height and shoot fresh weight of rice as affected by competitive density of resistant *Monochoria vaginalis* biotype to sulfonylurea herbicides with rice in direct-seeded rice culture.

Rice (No./m ²)	Density <i>M. vaginalis</i> (No./m ²)	Plant height (cm)				Tiller (No./m ²)			
		40 DAS	50 DAS	60 DAS	60 DAS	40 DAS	50 DAS	60 DAS	60 DAS
100	0	34.6	38.9	50.8	990	1025	790(100)		
	5	34.0	37.6	48.4	897	927	750(95)		
	10	35.2	38.0	48.7	827	913	730(92)		
	25	34.0	37.7	50.2	867	913	717(91)		
	50	34.4	37.7	48.9	850	867	693(88)		
	75	34.7	37.7	49.8	813	827	687(87)		
	100	35.1	38.5	49.5	853	776	643(81)		
	150	33.5	36.7	47.2	850	713	610(77)		

4.. 결과 요약

본 연구는 담수직파재배와 이앙재배 논에서 sulfonylurea계 제초제 처리 후에도 방제되지 않고 살아남아 문제시되는 저항성 물달개비와 벼의 경합에 따른 벼 생육 및 수량에 미치는 영향을 검토하여 저항성 물달개비 방제 한계기간을 설정하기 위해 수행하였다. 비경합적인 조건하에서 sulfonylurea계 제초제에 저항성과 감수성 물달개비 생태형간의 지상부 건물중은 차이가 없었다. 파종 또는 이앙 후 24일부터 66일 경합 기간 동안 발생한 저항성 물달개비의 발생본수, 초장, 엽수 및 건물중은 담수직파와 이앙재배양식간에 유의적인 차이는 없었다. 그러나 벼의 전 생육기간(146일)동안 물달개비 방임구에서 저항성 물달개비 발생본수는 두 재배양식 모두에서 오히려초기 경합 기간보다 감소하였다. 저항성 물달개비와 벼의 경합에 의한 벼 초장과 분얼수 감소는

이양재배 보다 직파재배에서 크게 나타났으며 이러한 감소정도는 경합기간이 증가할 수록 증가하였다. 저항성 물달개비와 벼의 경합기간이 증가할수록 직파재배 벼는 수수가, 이양재배 벼는 수수와 수당입수가 현저하게 감소되었으며 벼의 전 생육기간 동안 물달개비를 방치할 경우, 무경합구에 비해 벼의 수량은 직파재배에서 70% 그리고 이양재배에서 44%가 저항성 물달개비에 의해 감소되었다. 따라서 저항성 물달개비의 적절한 방제 한계기간은 직파재배에서는 파종 후 31일 이내에 그리고 이양재배에서는 이양 후 45일 이내이었다.

제5절 한국 벼 재배지에서 Sulfonylurea계 제초제 저항성 물 달개비 방제법과 저항성 기작

1. 서언

Sulfonylurea(SU)계 제초제 혼합제는 한국과 일본에서 눈에 발생한 광엽과 화본과 잡초를 방제하기 위해서 많이 사용되고 있다. 동일한 SU계 제초제 혼합제를 연속하여 사용하므로서 몇몇 벼 잡초종에서 저항성 발달을 초래하였다. 1987년에 SU계 제초제 저항성이 동일한 제초제를 5년 연속하여 사용한 밭 단작지에서 가시상치(*Lactuca scariola* L.)가 처음으로 보고되었다(Mallory-Smith et al. 1990). 저항성 발생은 동일한 제초제를 연속하여 사용함으로써 증가하고 있다. Acetolactate synthase (ALS; EC 4.1.3.18) 저해제인 sulfonylurea, imidazolinone, triazolopyrimidine sulfonanilide, sulfamoylurea과 pyrimidinyl thiobenzoate에 저항성이 미국, 캐나다, 오스트레일리아와 다른 국가에서 27종이 보고 되었다(Friesen et al. 1993; Hall and Devine, 1990; Heap, 2000; Primiani et al. 1990; Saari et al. 1990; Sarri et al. 1994).

SU계 저항성 잡초의 대부분은 건조지에 자란 겨울 밑에 chlorsulfuron 또는 chlorsulfuron + metsulfuron-methyl을 3-5년 동안 처리한 포장에서 발견되었다(Thill et al. 1991). 또한 1992년 이후에는 SU계 저항성 잡초(알방동사니와 *Sagittaria montevidensis* L. ssp. *calycina*)가 미국 논에서 발견되었고(Pappas-Fader et al. 1991), 일본에서는 물옥잠, 외풀류, 구와말 및 울챙고랭이가 발견되었다(Itoh et al. 1997; Kohara et al., 1998; Wang et al. 1997; Wang et al. 2000).

추가적으로 SU계 저항성 물옥잠(Park et al. 1999), 물달개비(Kwon et al. 2000), 미국외풀(Park et al. 2000) 및 마디꽃(Kwon et al. 2001)이 최근에 한국의 논에서 관찰되고 있다. 이들 논은 1990년 이후 8년 연속 SU계 혼합제를 사용한 벼 단작 재배지이다.

SU계 제초제는 분지아미노산 valine, leucine과 isoleucine의 생합성을 촉매하는 첫 번째 효소인 ALS을 억제한다(Brown, 1990; Ray, 1984). 대부분의 경우 ALS 억제제 제초제에 저항성은 ALS 유전자 돌연변이에 기인한 작용점의 둔감성이다(Saari et al.

1994; Hwang et al. 2001; Lovell et al. 1996). 한편, 라이그라스(*Lolium rigidum* Gaud.)는 SU계 제초제 chlorsulfuron에 저항성이 대사에 기초하는 것으로 보인다(Christopher et al. 1991).

저항성 물탈개비는 감수성 생태형처럼 활력적으로 자랄 수 있다. 만일 방제되지 않는다면 직파 및 이앙재배에 심한 수량감소의 원인이 될 수 있다. 예를 들면 필리핀에서 자연적으로 발생한 물탈개비(366개/m²)는 이앙재배에서 35% 비 수량을 감소하였다(Lubigan and Vega, 1971).

이 연구의 목적은 imazosulfuron에 물탈개비 저항성 정도를 알아보고 SU계 제초제가 아닌 다른 제초제에 대한 저항성 생태형의 교차저항성을 조사하고, 저항성 생태형을 방제할 수 있는 대체 제초제를 찾고, 직파재배와 이앙재배의 수량에 관한 저항성 물탈개비 영향을 결정하고, ALS 효소의 둔감성이 저항성 기구인지를 알아보는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 식물재료

SU계 제초제 저항성 물탈개비 생태형으로 의심된 9 수집종의 종자를 2000년 전남 지방에서 수집하였다. 종자를 수집한 논은 주로 SU계 혼합제인 pyrazosulfuron-ethyl + molinate을 8년 연속하여 사용한 곳이다. 또한 물탈개비 종자는 제초제를 처리하지 않은 순천시 논에서 수집하여 이들 종자를 감수성으로 하였다. 휴면 타파를 위하여 종자는 4°C에서 1개월 저장하였다.

나. ALS 저해제 제초제에 대한 반응

물탈개비 종자는 논토양(점질토)으로 충진된 plastic pot(280cm² 표면면적)에 파종하여 온실(주야: 30/25°C, 14/10시간 광주기)에 두었다. 물탈개비 2엽기에 pot의 물의 깊이를 3cm로 조절한 후 6가지 ALS 저해제 제초제, bensulfuron-methyl(0.4, 0.8, 1.6, 12.8, 25.5, 51, 102, 204, 408 및 816 g ai ha⁻¹), cyclosulfamuron(0.5, 0.9, 1.9, 3.8, 7.5,

15, 30, 60, 120, 240, 480 및 960 g ai ha⁻¹), imazosulfuron(0.15, 0.3, 0.6, 1.2, 2.3, 4.7, 9.4, 18.8, 37.5, 75, 150, 300, 600, 1,200 및 4,800 g ai ha⁻¹), pyrazosulfuron-ethyl(0.15, 0.3, 0.7, 1.3, 2.6, 5.3, 10.5, 21, 42, 84, 168 및 336 g ai ha⁻¹), imazapyr(0.98, 1.95, 3.9, 7.81, 15.63, 31.25, 62.5 및 125 g ai ha⁻¹)과 imazaquin(0.625, 1.25, 2.5, 5, 10, 20, 40 및 80 g ai ha⁻¹)을 처리 하였다. Bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl, imazapyr와 imazaquin의 추천량은 각각 51, 60, 75, 21, 125 및 80 g ai ha⁻¹ 이다.

처리 후 20일째에 식물은 토양 표면에서 자른 후 48시간 동안 60℃에서 건조한 후 지상부 건물중을 조사하였다. 실험은 2회 또는 3회 반복하였다. Data는 수집종간에 비교하기 위하여 무처리에 대한 백분율로 계산하였다. Sigmoid regression(equation 1) 또는 logistic (equation 2) equations(앞의 제 2절 재료 및 방법 참조)은 SAS 프로그램(2000)을 사용하여 ALS 저해제는 제초제에 다양한 수집종의 반응을 알아보고자 사용하였다. 사용한 회귀방정식은 Table 1과 2에 제시하였다. GR₅₀ 값은 회귀방정식으로 부터 계산하였다.

다. 비 ALS 저해제 제초제에 대한 반응

가장 저항성인 수집종(#9)과 표준 감수성 수집종을 이 연구에 사용하였다. 다른 작 용기작을 가진 9가지 제초제를 SU계 저항성 물탈개비 방제효과를 알아보고자 사용하였다(Table 3). 물탈개비 2엽기, 파종 후 20일에 butachlor, dithiopyr, mefenacet, molinate, pretilachlor와 pyrazolate 입제를 처리하였다. 그러나 2,4-D와 bentazon은 이 앙 후 5주, 물탈개비 7-8엽기에 처리하였다. 생존 개체수, 달관에 의한 잡초방제 효과 및 지상부 건물중을 이앙 후 20일에 조사하였다. 제초효과에 관한 달관평가는 0-9로 표시하였고, 0는 전혀 방제되지 않은 것을 9는 완전히 방제되는 것을 의미한다. 다른 과정은 위의 ALS 저해제 제초제에 대한 반응 실험과 동일하게 하였다.

라. SU계 혼합제에 대한 반응

SU계 저항성 물탈개비에 관한 효과를 알아보기 위하여 27가지 SU계 혼합제를 사용하였다(Table 4). 다른 과정은 위의 ALS 저해제 제초제에 대한 반응 실험과 동일

하게 하였다.

마. 포장에서 SU계 저항성 물달개비 방제 가능 제초제 선발
토양처리제 제초제 경우, 저항성 물달개비가 감염된 전남농업진흥원 수도포장에서
2002년에 수행하였다. 담수직파 경우, 미리 밭아시킨 종자를 ha당 50kg 수준으로 손
으로 파종하였다. 이앙재배는 10일 묘를 사용하여 15 × 30 cm 간격으로 기계이앙 하
였다. 그 밖의 재배적인 방법은 농촌진흥청 표준재배법(1998)에 준하였다. 처리구는 3
× 5m로 난괴법 3반복으로 배치하였다. 사용한 제초제, 제형, 약량 및 처리시기는
Table 6에 제시하였다. 제초효과에 대한 달관평가(0-9, 0는 전혀 방제되지 않음, 9는
완전방제)는 처리 후 10, 20, 30일에 하였다. 또한 벼에 대한 달관평가도 같은 시기에
평가하였다.

경엽처리제 제초제 경우, 저항성 물달개비가 감염된 전남, 충남 및 경기도 수도포장
에서 2003년 수행하였다. Pyrazosulfuron-ethyl + molinate를 처리하고 생존한 물달개
비에 Table 7에 제시한 제초제를 처리하여 저항성 생태형의 방제 여부를 알아보았다.
그 밖의 방법은 위의 토양처리제 경우와 동일하게 하였다.

바. SU계 제초제 저항성 물달개비에 의한 벼의 수량

본 실험은 SU계 제초제에 저항성 물달개비가 출현한 전남농업기술원 는 포장에서
수행하였다. 이 포장은 SU계 혼합제 pyrazosulfuron-ethyl + molinate을 8년간 처리하
였다. 벼 일미벼를 담수직파와 기계이앙으로 2001년 5월 5일에 파종 또는 이앙하였다.
담수직파 경우 밭아(1 - 2 mm radicle) 한 종자를 Ha당 50kg 수준으로 파종하였고,
이앙재배는 10일묘를 사용하여 15 X 30 cm 재식거리로 손 이앙하였다. Plot 크기는 4
× 5m로 하였다. 실험설계는 3반복으로 완전 임의배치 하였다. 질소비료는 요소로
Ha당 110kg 사용하였다. 질소의 50%는 기비로 토양혼화 처리하였고, 30%는 벼 5엽
기 때, 20%는 수수형성기에 처리하였다. 인산과 칼륨은 Ha당 각각 70kg과 80kg 수
준으로 기비로 토양 혼화 처리하였다. 다른 재배적인 관리 방법은 한국의 농촌진흥청
표준재배법에 준하여 수행하였다(RDA, 1998). 사용한 제초제(Tables 5와 6)는 물달개
비 2엽기 때에 표준량 처리하였다. m²당 생존수와 건물중은 이앙 후 50일에 조사하였

다. 벼 수량조사를 위해 sample은 plot당 1m²로 3군데에서 수확하였다. 수량구성요소는 수수, 수당 영화수, 등숙율(%) 및 친립중을 이들 sample부터 조사하였다. 벼의 수량은 14% 수분이 되도록 건조한 후 grain 무게를 근거하여 계산하였다. Data는 SAS 프로그램(2000)을 이용하여 분산분석 하였다. 처리 평균은 최소유의차 검증(P=0.05)으로 표시하였다.

사. *In vitro* ALS 분석

제2절 간이진단법 실험과 동일하게 수행하였다.

아. *In vivo* ALS 분석

제2절 간이진단법 실험과 동일하게 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 저항성 확인

수집종은 1990년 이후로 SU계 제초제 혼합제를 5-8년 동안 연속하여 처리한 벼 단작지 논으로부터 수집하였다. 이들 논이 물달개비는 7년 동안은 SU계 제초제에 의해 방제되었다. 그러나 물달개비에 대한 제초제 효과는 1997년 이후 크게 감소하여 논포장에서 점점 우점 잡초가 되었다. 이러한 관찰은 이들 포장에서 저항성 물달개비가 진개됨을 의미한다.

이들 수집종들은 whole plant 반응 실험에서 imazosulfuron에 저항성 정도가 다양하게 존재하였다(Table 1). 모든 수집종의 GR₅₀ 값은 감수성 생태형에 비해 1,112-3,172배 높았다. 이것은 SU계 제초제 혼합제를 전에 노출했던 모든 수집종은 imazosulfuron에 저항성을 의미한다. 다른 연구들에 의해서도 ALS 저항성은 ALS 저해제를 4-7년 연속하여 처리한 경우 발생한다고 보고하였다(Sprague et al. 1997).

은실조건에서 저항성 및 감수성 물달개비 형태 및 생장에 차이는 없었다. 생장 40일 후에 저항성 생태형의 평균 지상부 건물중은 식물당 44.8 ± 3.6mg이었고, 감수성 생태형은 식물 당 46.2 ± 3.9mg이었다.

Table 1. GR₅₀ values for the whole plant response of susceptible (S) and resistant (R) accessions of *M. vaginalis* treated with imazosulfuron. The plants were treated at 2 leaf stage and shoot dry weight was recorded 20 days after treatment.

Accession	Regression equation ^a	R ²	GR ₅₀ ^b (g ai ha ⁻¹)	R/S ^c
1	$Y = 4309/[1+e^{(X+6353)/1671}]$	0.88	1075	2,150
2	$Y = 4471/[1+e^{(X+5845)/1515}]$	0.89	945	1,890
3	$Y = 3848/[1+e^{(X+6455)/1764}]$	0.90	1184	2,368
4	$Y = 4289/[1+e^{(X+5850)/1513}]$	0.88	862	1,724
5	$Y = 4266/[1+e^{(X+5703)/1508}]$	0.90	982	1,964
6	$Y = 3387/[1+e^{(X+4558)/1245}]$	0.87	671	1,342
7	$Y = 4196/[1+e^{(X+6295)/1682}]$	0.89	1128	2,256
8	$Y = 4533/[1+e^{(X+3459)/893.4}]$	0.92	556	1,112
9	$Y = 3147/[1+e^{(X+8546)/2458}]$	0.89	1586	3,172
SS ^d	$Y = 1409/[1+e^{(X+1.870)/0.737}]$	0.99	0.5	

^aRegression equation generated using herbicide concentration in g ai ha⁻¹.

^bGR₅₀ values were the imazosulfuron herbicide concentrations that reduced shoot dry weight by 50%.

^cR/S ratios were calculated based on GR₅₀ values of accessions tested relative to the standard susceptible accession

^dStandard susceptible accession

나. 물달개비의 교차 및 다중저항성

Imazosulfuron에 가장 저항성 물달개비 수집종은 SU계 제초제인 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl에는 교차저항성을 보였으나, imidazolinone계 제초제인 imazapyr와 imazaquin에는 교차저항성을 보이지 않았다(Table 2와 Figure 1). 물달개비의 감수성 생태형은 앞에서 언급한 제초제의 각각의 추천량의 1/4 처리량에도 완전히 방제되었다. 그러나 저항성 생태형은 추천량의 4-64배의 처리에서도 방제되지 않았다. Bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron,

imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl을 처리한 저항성 생체형의 GR₅₀ 값은 Table 2에 제시하였다. 4가지 SU계 제초제에 물달개비의 저항성 수준은 imazosulfuron > cyclosulfamuron > bensulfuron-methyl > pyrazosulfuron-ethyl순 으로 높았다. 본 연구와 유사하게 다른 SU계 제초제에 저항성 물달개비도 다른 SU계 제초제에 교차 저항성을 보였다. 그러나 imidazolinone계 제초제, imazaquin에는 교차저항성이 없었다(Hwang et al. 2001). 다른 ALS 저항성 잡초종은 교차저항성에 다른 경향을 보인다. 예를 들면 chlorsulfuron에 저항성 *L. serriola*는 imidazolinone계 제초제 imazethapyr와 imazapyr 뿐만 아니라 8가지 SU계 제초제에 교차 저항성을 보였으나 imidazolinone계 제초제인 imazaquin에는 교차 저항성이 없었다(Mallory-Smith et al. 1990).

Table 2. Whole plant response of susceptible (S) and resistant (R) biotypes of *M. vaginalis* to ALS inhibiting herbicides.

Herbicide	Biotype	Regression equation ^a	R ²	GR ₅₀ ^b (g ai ha ⁻¹)	R/S ^c
A. Sulfonylurea	R	$Y = 1320/[1+(X/1.61)^{0.81}]$	0.99	56	31
	S	$Y = 99.83/[1+(X/1.87)^{1.77}]$	0.98	1.83	
	R	$Y = 135/[1+(X/38.1)^{0.94}]$	0.99	67	38
	S	$Y = 102/[1+(X/1.78)^{2.53}]$	0.99	1.77	
Imazosulfuron	R	$Y = 3147/[1+e^{(X+85467/2485)}]$	0.89	1586	3,172
	S	$Y = 1409/[1+e^{(X+18700/0.737)}]$	0.99	0.50	
	R	$Y = 190/[1+(X/0.62)^{0.57}]$	0.95	3.67	7
	S	$Y = 103/[1+(X/0.49)^{1.38}]$	0.97	0.49	
B. Imidazolinone	R	$Y = 91/[1+(X/9.28)^{0.86}]$	0.98	9.23	1
	S	$Y = 99.7/[1+(X/9.00)^{0.56}]$	0.96	8.85	
	R	$Y = 96.5/[1+(X/4.97)^{0.86}]$	0.97	4.59	1
	S	$Y = 95.9/[1+(X/5.08)^{0.96}]$	0.97	4.60	

^aRegression equation generated using herbicide concentration in g ai ha⁻¹.

^bGR₅₀ values were the ALS inhibiting herbicides concentrations that reduced shoot dry weight by 50%.

^cR/S ratios were calculated relative to the GR₅₀ value of the susceptible biotypes of *M. vaginalis*.

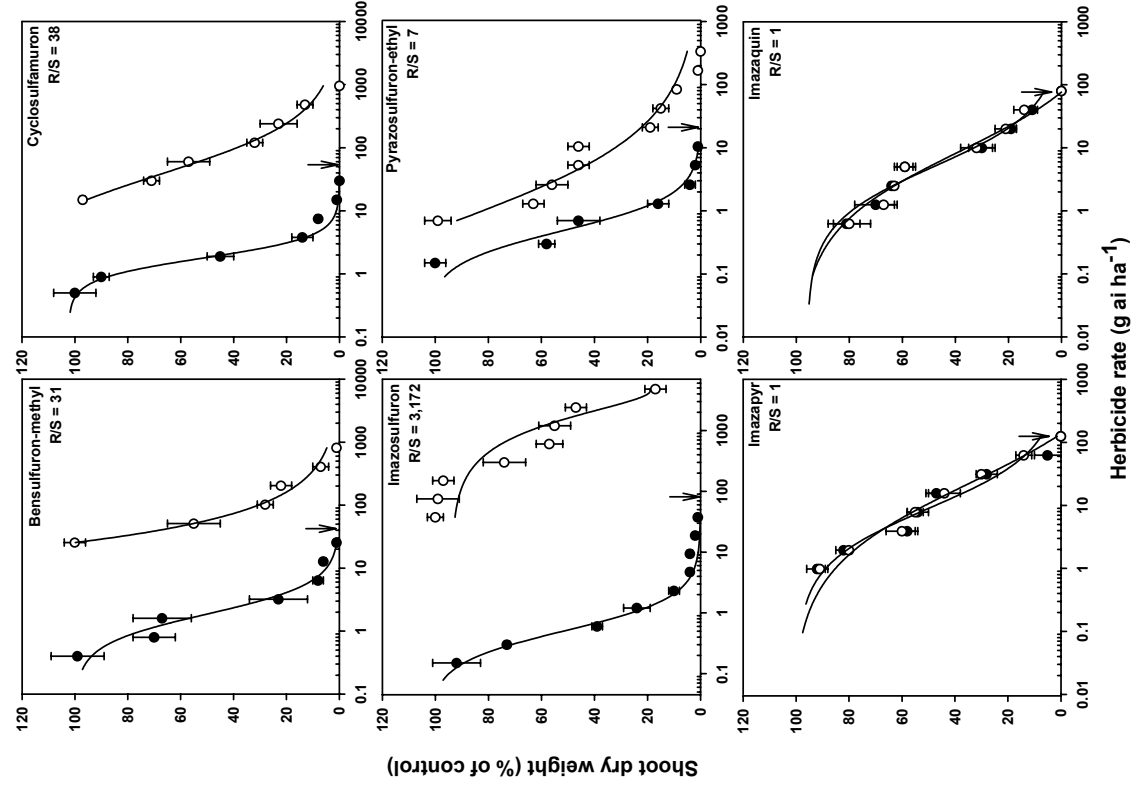


Figure 1. Shoot dry weight of susceptible (●) and resistant (○) biotypes of *M. vaginalis* as affected by ALS inhibiting herbicides in whole plant response assay. The herbicides were applied to 2 leaf *M. vaginalis* and shoot dry weight was determined 20 days after treatment. Vertical bars represent standard errors of the mean. Arrow (↓) indicates the recommended rate of bensulfuron-methyl (51g ai ha⁻¹), cyclosulfamuron (60g ai ha⁻¹), imazosulfuron (75g ai ha⁻¹), and pyrazosulfuron-ethyl (21g ai ha⁻¹) for rice paddy fields and the recommended rate of imazapyr (125g ai ha⁻¹) and imazaquin (80g ai ha⁻¹) for non crop lands in Korea. Corresponding GR₅₀ values are presented in Table 2.

저항성 물달개비 생태형은 SU계와 작용기작이 다른 제초제에는 다중저항성을 보이지 않았다(Table 3). 토양처리제 제초제 mefenacet와 pyrazolate 추진량 사용에 의해 저항성과 감수성 생태형은 효과적으로 방제할 수 있었다. 또한 경엽처리제 2,4-D와 bentazon도 두 생태형을 효과적으로 방제하였다. 사용한 다른 제초제에는 저항성과 감수성 생태형을 거의 방제하지 못하였다. 본 연구 결과는 SU계 저항성 물달개비를 작용기작이 다른 제초제를 사용할 경우에는 방제가 가능함을 의미한다.

다. SU계 혼합제에 대한 반응

Mefenacet와 pyrazolate는 SU계 저항성 물달개비를 방제할 수 있더라도 이들 제초제는 다년생 잡초를 방제할 수 없다. 저항성 물달개비가 출현한 포장은 올챙고랭이, 올방개와 벚풀 같은 다년생 잡초도 발생할 수 있다. 논 포장에서 다년생 잡초를 방제하기 위하여 mefenacet와 pyrazolate는 일반적으로 SU계 제초제와 함께 사용한다. 그래서 다양한 SU계 혼합제를 사용하여 저항성 물달개비를 방제 여부를 알아보고자 하였다(Table 4). 대부분 SU계 혼합제는 표준량을 사용하였을 때는 방제되지 않는다. 그러나 SU계 혼합제, imazosulfuron, cyclosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl을 각각 mefenacet와 혼합제로 사용하였을 때 저항성 생태형을 65-72% 방제하였다. SU계 혼합제 중에 단지 ethoxysulfuron + fentrazamide만이 저항성 생태형을 수용할 정도(93%) 방제되었다. 한편, 다른 작용기작을 가진 제초제 simetryn + molinate는 저항성 생태형을 100% 방제하였다. 2, 4-D 또는 bentazon을 이앙 후 5주제에 처리하면 저항성 생태형을 완전방제 할 수 있다. 이들 결과로 볼 때 SU계 저항성 물달개비는 SU계 혼합제에 의해 효과적으로 방제되지 않음을 의미한다. 따라서 simetryn과 molinate와 같은 작용기작이 다른 제초제의 사용은 SU계 저항성 물달개비를 관리하는데 필요하다.

라. 포장에서 SU계 저항성 물달개비 방제 가능성 제초제 선발

저항성 물달개비로 확인된 수도포장을 선정하여 담수직파와 이앙제배에서 토양처리 제초제의 처리에 의한 방제효과를 알아보았다(Table 6). 담수직파제배의 경우, bensulfuron-methyl + thiobencarb와 pyrazosulfuron-ethyl + molinate와 같은 SU계

Table 3. Effects of herbicides with other modes of action on the susceptible (S) and resistant (R) biotypes of *M. vaginalis* treated at 2 leaf stage. Parameters were recorded 20 days after treatment.

Herbicide	Rate	Herbicidal efficacy		No. of survivors		Shoot dry weight	
		S	R	S	R	S	R
	g ai ha ⁻¹	Visual rating ^a		% reduction based on untreated check			
2, 4-D	140	9.0	8.3	100	95	100	95
	280	9.0	8.5	100	99	100	99
	560	9.0	9.0	100	100	100	100
Bentazon	800	8.7	8.0	98	92	99	92
	1600	9.0	8.0	100	94	100	93
	3200	9.0	9.0	100	100	100	100
Butachlor	375	1.0	1.0	0	16	19	0
	750	1.3	1.7	8	20	37	45
	1500	5.8	3.3	15	32	59	50
	3000	8.0	5.3	64	45	75	66
Dithiopyr	45	3.7	1.7	31	33	49	42
	90	5.7	5.7	59	59	64	50
	180	7.7	7.0	67	71	69	74
Metfenacet	525	7.0	7.3	77	75	81	85
	1050	9.0	9.0	100	100	100	100
	2100	9.0	9.0	100	100	100	100
Molinate	750	0.0	0.0	0	0	0	0
	1500	0.0	0.0	0	4	0	0
	3000	0.0	0.0	5	6	32	0
Pretilachlor	600	3.7	2.7	13	14	54	53
	1200	6.0	5.3	45	40	57	62
	2400	8.3	7.3	67	55	86	91
Pyrazolate	225	5.7	4.3	44	39	66	54
	450	8.0	- 115 - 7.7	68	65	83	80
	900	8.3	8.3	79	68	91	91
	1800	8.3	8.3	36	81	79	90
	3600	9.0	9.0	100	100	100	100
Thiobencarb	263	1.0	1.0	30	29	41	30
	525	1.3	1.2	35	30	47	35

^aA rating of 0 represents no weed control and 9 indicates complete control.

^bNumber of individual in the untreated control averaged 25 plants per pot (280 cm² surface area).

Table 4. Effects of sulfonylurea herbicide based mixtures on the susceptible (S) and resistant (R) biotypes of *M. vaginalis* treated at 2 leaf stage. Parameters were recorded 20 days after treatment.

Herbicide mixture	Rate g ai ha ⁻¹	Herbicidal efficacy		No. of individual		Shoot dry weight	
		S	R	S	R	S	R
		Visual rating ^a		% reduction based on untreated check			
Bensulfuron-methyl / Butachlor	51 / 750	9.0	2.0	100	25	100	56
Dithiopyr	39 / 120	7.3	3.0	29	39	59	60
Mefenacet	39 / 750	9.0	6.5	100	55	100	62
Molinate	51 / 1500	8.7	1.0	77	41	80	55
Pretilachlor	51 / 300	9.0	1.0	100	7	100	40
Thiobencarb	51 / 2100	9.0	1.0	100	30	100	26
Fentrazamide	51 / 210	9.0	7.0	100	45	100	51
Cyclosulfamuron / Dithiopyr	60 / 90	9.0	1.0	100	23	100	12
Mefenacet	60 / 1050	9.0	8.0	100	62	100	65
Molinate	60 / 2100	9.0	3.0	100	37	100	49
Imazosulfuron / Mefenacet	75 / 1050	9.0	8.0	100	60	100	67
Molinate	75 / 1500	9.0	1.0	100	35	100	29
Pretilachlor	75 / 300	9.0	2.5	100	41	100	52
Thiobencarb	75 / 1500	9.0	2.0	100	47	100	53
Pyrazosulfuron-ethyl / Butachlor	21 / 750	8.7	4.5	92	32	92	45
Dithiopyr	21 / 120	8.3	5.0	83	62	82	72
Mefenacet	18 / 1050	9.0	8.0	100	66	100	72
Pretilachlor	18 / 300	9.0	2.5	100	37	100	50
Molinate	21 / 1500	8.3	1.5	76	3	85	22
Thiobencarb	21 / 2100	9.0	1.0	100	13	100	38
Azimsulfuron / Molinate	15 / 2100	9.0	1.3	100	35	100	34
Amilofos	15 / 450	9.0	6.3	100	50	100	64
Esprocarb	15 / 2100 118	9.0	1.0	100	16	100	31
Ethoxysulfuron / Fentrazamide	30 / 300	9.0	8.7	100	84	100	93
Ethoxysulfuron/Benfuresate/Molinate	21 / 360/ 1500	9.0	4.0	100	37	100	45
Habosulfuron-methyl / Molinate	54 / 2100	7.7	1.3	44	29	99	44
Simetryn / Molinate	360 / 1500	9.0	9.0	100	100	100	100

^aA rating of 0 represents no weed control and 9 indicates complete control.

^bNumber of individual in the untreated control averaged 25 plants per pot (280 cm² surface area).

혼합제는 저항성 물달개비를 완전히 방제하기 어려웠다. 비록 일부 SU계 혼합제인 pyrazosulfuron-ethyl + mefenacet + dymuron, pyrazosulfuron-ethyl + pyrazolate + simetryn 그리고 pyrazosulfuron-ethyl + pyriminobac + carfentrazone-ethyl는 저항성 물달개비를 완전 또는 거의 완전 방제가 가능할지라도 특별하게 필요한 경우에만 사용해야 할 것이다. 그 밖의 thiobencarb, fentrazamide 및 oxadiagyl는 저항성 물달개비를 완전방제 할 수 있었다. 이들 사용제초제는 초기에는 약해가 다소 발생하였으나 처리 후 30일 경에는 거의 회복되었다. 이양재배의 경우, 일부 SU계 혼합제 처리는 저항성 물달개비에 대한 방제효과가 떨어졌으나, pyrazosulfuron-ethyl + pyrazolate + simetryn는 저항성 물달개비를 100% 방제하였다. 그래서 저항성 물달개비가 출현한 논이 다른 다년생잡초와 동시에 발생한 논인 경우는 pyrazosulfuron-ethyl + pyrazolate + simetryn 제초제를 처리하여 방제할 수 있으리라 생각된다. 또한, 비 SU계 혼합제인 pyrazolate + butachlor, carfentrazone-ethyl + thiobencarb 및 tiobencarb + simetryn 등도 저항성 물달개비를 방제하는데 아주 효과적이었다. 사용한 제초제는 담수직파의 초기 약해현상과 달리 이양재배에서는 거의 볼 수가 없었다.

본 연구에서는 pyrazosulfuron-ethyl + molinate를 파종 후 10일에 토양처리 하였다. 그러나 저항성 생태형은 방제되지 않았다. 생존한 저항성 물달개비를 방제하기 위하여 경엽처리제를 다시 처리하였다(Table 7).

생존한 물달개비 생육단계를 고려해서 bentazon, cafentrazone-ethyl 및 2, 4-D를 토양처리제로 사용하였다. 전남 시험포장에서 Bentazon과 2,4-D를 각각 단독으로 추친량(1600와 280 g a.i ha⁻¹)을 사용한 경우 생존한 물달개비는 70%와 100% 방제되었다. Bentazon을 추천량보다 많은 2400 g a.i. ha⁻¹로 사용하였을 때 충남과 경기 시험모두에서 물달개비는 100% 방제되었다. 비록 2,4-D를 단독으로 280 g a.i ha⁻¹ 사용한 경우 생존한 물달개비를 완전히 방제하였더라도 벼에 약해를 초래하였다(Table 4). 그리고 그 약해증상은 벼의 분얼각도가 증가하였다(자료 미제시). 그래서 약해를 줄이

면서 생존한 물달개비를 방제하기 위하여 다양한 약량과 함께 bentazon + MCPA, bentazon + cyhalofop-butyl, bentazon + mecoprop-P 그리고 추천량의 1/2로 2,4-D 을 처리하였다. 생존한 물달개비는 bentazon을 2,400g a.i. ha⁻¹로 처리하여 방제되었다. 그러나 만약 제초제 처리 전에 논을 완전히 배수를 하지 못하면 bentazon 처리 효과는 매우 낮았다(자료 미제시). 그 이유는 bentazon이 점축형 제초제이기 때문이다. 실제로 벼 재배기간 동안 완전하게 배수하기는 어렵다. 그래서 bentazon을 호르몬형 제초제이며 이행성 제초제인 MCPA, mecoprop-P와 mecoprop를 본엽이 2엽 또는 4엽인 물달개비를 방제하기 위하여 사용하였다(Herbicide Handbook, 1994). 물달개비의 우수한 방제효과는 처리약량과 시험장소에 상관없이 bentazon + MCPA 그리고 bentazon + mecoprop-P 처리에 의해 얻을 수 있었다. Bentazon + MCPA 처리에 의한 벼의 약해는 처리 후 10, 20일 그리고 30일에 다소 관찰되었다. 또한, bentazon + cyhalofop-butyl 처리도 물달개비를 만족스럽게 방제할 수 있었다. 본 연구에 사용된 모든 혼합제는 시험장소, 재배양식, 약량 및 처리시기에 관계없이 생존한 물달개비를 효과적으로 방제할 수 있었다.

마. 포장에서 저항성 물달개비에 의한 수량반응

직파재배와 이앙재배에서 SU계 저항성 물달개비는 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리에 의해 단지 17-20% 방제되었다. 그러나 이앙재배에서 pyrazolate + butachlor의 추천량 처리에 의해서 완전 방제되었다(Table 5). 직파재배와 이앙재배 논에서 물달개비 밀도는 파종 후 50일과 이앙 후 40일에 무처리구에서 m²당 각각 1,097개와 1,121개 이었다. SU계 저항성 물달개비는 이들 포장에서 발생하는 주요 잡초종이었다. 제초를 처리하고도 생존한 저항성 잡초는 약 80% 수량 감소의 원인이 되었다(Table 8). Pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리구에서 벼 수량은 직파재배와 이앙재배의 무처리구의 수량과 유사하였다. 생존한 물달개비에 기인한 수량감소는 손제초 또는 pyrazolate + butachlor 처리와 비교하여 직파재배 또는 이앙재배에서 평균 57% 감소하였다. Pyrazosulfuron-ethyl + molinate를 처리한 구에서 m²당 수수의 수는 직파재배에서 손제초보다 70% 감소하였고, 이앙재배에서 pyrazolate + butachlor 처리구보다 31%적었다. 그러나 수당입수, 등숙율 및 친립중과 같은 다른 수량구성요

소는 모든 처리에서 같았다. 그러므로 벼 수량 감소는 직접적으로 벼 수수의 감소에 기인되는 것으로 결론을 내릴 수 있었다. 생존한 물탈개비의 높은 밀도는 벼의 분얼 능력을 크게 제한하여 결국 벼 수량 감소를 초래한다.

Table 5. Effects of soil applied herbicides on resistant (R) biotypes of *M. vaginalis* in direct seeded and transplanted rice culture. The herbicides were applied to 2 leaf stage *M. vaginalis*. Parameters were recorded at 50 days after direct seeding or 40 days after transplanting.

Cultural method	Weed control treatment	Rate (g ai ha ⁻¹)	No. of individual (m ²)	Shoot dry weight (g m ²)	Herbicide efficacy ^a (%)
Direct seeding	Pyrazosulfuron-ethyl + molinate	21 + 1500	1,073	238	17
	Hand weeding	20, 40 DAS ^b	0	0	100
Transplanting	Untreated control		1,097	287	0
	Pyrazosulfuron-ethyl + molinate	21 + 1500	954	222	20
	Pyrazolate + butachlor	1800 + 1050	0	0	100
	Untreated control		1,121	277	0

^aEfficacy was based on reduction of shoot dry weight.

^bDAS = days after seeding.

바. ALS 억제

저항성 및 감수성 물탈개비의 지상부 조직으로부터 추출한 *in vitro* ALS의 특이 활성은 감수성과 저항성이 각각 493 ± 83과 439 ± 82nmol hr⁻¹ mg⁻¹ protein로서 유사하였다. 이들 결과는 저항성은 저항성 생태형에서 작용점 효소인 ALS의 과다표현에 기인되지 않음을 의미한다. 저항성 생태형으로부터 *In vitro* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron, bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 각각 183, 35, 130 및 31배 더 저항성이었다(Table 9와 Figure 2). 그러나

imidazolinone계 제초제인 imazapyr와 imazaquin에 대해 두 생체형의 *in vitro* ALS 활성은 유사하였다.

Table 6. Effects of soil applied herbicides on resistant (R) biotypes of *M. vaginalis* in direct seeded and transplanted rice culture.

Cropping pattern	Herbicide	Formulation	Rate (g ai ha ⁻¹)	Application timing	Herbicidal efficacy			Rice injury		
					10 DAA	20 DAA	30 DAA	10 DAA	20 DAA	30 DAA
Wet-seeding	Thiobencarb	7%GR	2,100	5DBS	9	9	9	2	1	0
	Fentrazamide	1.9%SC	95	5DBS	9	8.5	8	2	1	0
	Oxadiagyl(-)	1.7%SC	68	5DBS	9	9	9	2	1	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+ mefenacet+dymuron	0.07+3.5+1.5GR	21+1,050+450	10DAS	9	8.5	8	3	2	1
	Bensulfuron-methyl+ thiobencarb	0.17+7%GR	51+2,100	10DAS	8	7	6	2	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+ pyrazolate+simetryn	0.05+3+0.7%GR	15+900+210	15DAS	9	9	9	2	2	1
	Pyrazosulfuron-ethyl+ pyriminobac+ carfentrazone-ethyl	0.07+1+0.25%GR	21+30+75	15DAS	9	9	8	1	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+ molinate	0.07+5%GR	21+1,500	15DAS	4	3	1	1	0	0

To be continued

Transplating	Oxadiazon	12%SC	480	2DBS	9	9	9	9	9	1	0	0
	Benzobicyclon(-)	3.5%SC	140	5DBS	9	9	9	9	9	0	0	0
	"	"	"	10DBS	9	9	9	9	9	0	0	0
	"	"	"	15DBS	9	9	8.5	8.5	0	0	0	0
	Pyrazolate+butachlor	6+3.5%GR	1,800+1,050	5DAS	9	9	8.5	8.5	0	0	0	0
	Carfentrazon-ethyl+ thiobencarb	0.25+7%GR	75+2,100	5DAS	9	9	8	8	1	0	0	0
	Azimsulfuron+ thiobencarb	0.17+7%GR	51+2,100	10DAS	8	7	6	6	0	0	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+ mefenacet	0.07+3.5%GR	21+1,050	10DAS	9	8.5	8	8	1	0	0	0
	"	"	"	15DAS	6	5	4	4	0	0	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl +mefenacet+thiobencarb	0.17+1+5%GR	21+3000+1,500	10DAS	9	8.5	8	8	0	0	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl +pyrazolate+simetryn	0.05+3+0.7%GR	15+900+210	10DAS	9	9	9	9	2	1	0	0
	"	"	"	15DAS	8	7.5	7	7	1	0	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl +pyriminobac+carfentrazon	0.07+1+0.25%GR	21+30+75	15DAS	8	7.5	7	7	0	0	0	0
	Thiobencarb+simetryn	7+1%GR	2,100+300	15DAS	8	8	8	8	1	0	0	0

Table 7. Effects of foliar application herbicides on the surviving *M. vaginalis* treated at 2 or 4 main leaf stage. The survival individuals of *M. vaginalis* were from the paddy fields treated with the mixture of pyrazosulfuron-ethyl plus molinate at 10 days after seeding or transplanting.

Experimental site	Cropping pattern	Herbicide	Rate (g a.i. ha ⁻¹)	Application timing	Herbicidal efficacy ^a			Rice injury ^b		
					10	20	30	10	20	30
					DAA			DAA		
Kyonggi	Transplanting	Bentazon	2,400		4	7	8	0	0	0
		Bentazon+Cyhalofop-butyl	1,650+300		3	7	8	1	1	0
		Bentazon+MCPA	800+120	2 main leaf, 15cm high	6	8	8	0	0	0
		Bentazon+MCPA	1,200+180		7	9	9	1	1	0
		Bentazon+MCPA	2,400+360		8	9	9	2	1	1
Chungnam	Transplanting	Bentazon	2,400		4	8	9	0	0	0
		Bentazon+Cyhalofop-butyl	1,650+300	4 main leaf, 20cm high	3	3	6	0	0	0
		Bentazon+MCPA	1,200+180		3	8	9	1	1	1
Chonnam	Wet seeding	2, 4-D	280		9	9	9	2	3	3
		Bentazon	1,600		8	7	6	0	0	0
		Bentazon+2, 4-D	1,200+140		9	9	9	1	1	1
		Bentazon+MCPA	930+138	2 main leaf, 15cm high	9	9	9	2	2	2
		Bentazon+mecoprop P	1,000+150		9	9	9	2	2	2
		Bentazon+Cyhalofop-butyl	1,650+300		6	8	8	0	0	0
		Carfentrazone-ethyl+mecoprop	15+150		8	6	6	2	2	2

^aA rating of 0 represents no weed control and 9 indicates complete control.

^bA rating of 0 represents no rice injury and 9 indicates complete killed.

^cDAA, days after application

Table 8. Yield of rice as affected by competition with surviving resistant (R) biotype of *M. vaginalis* in direct seeded and transplanted rice culture. Herbicides were applied to 2 leaf weeds.

Cultural method	Herbicide	Rate g ai ha ⁻¹	Panicles (No. m ²)	Spikelets per panicle	Ripened grain (%)	1,000 grain (g)	Yield (kg 10a ⁻¹)	Yield index
Direct seeding	Pyrazosulfuron-ethyl + molinate	21 + 1500	115b	90	90	23.0	160b	30
	Hand weeding	20, 40 DAS ^a	388a	92	92	23.1	537a	100
	Untreated control		110b	90	90	23.4	137b	25
Transplanting	Pyrazosulfuron-ethyl + molinate	21 + 1500	238b	80	90	22.3	308b	56
	Pyrazolate + butachlor	1800 + 1050	343a	101	94	23.0	549a	100
	Untreated control		215b	95	90	22.0	295b	53

^aDAS=days after seeding.

^bMeans within a column followed by the same letter are not significantly different at the 1% level according to the LSD test.

Table 9. *In vitro* inhibition of ALS activity of susceptible (S) and resistant (R) biotypes of *M. vaginalis*.

Herbicide	Biotype	Regression equation ^a	R ²	I ₅₀ ^b (μM)	R/S ^c
Sulfonylurea herbicides					
Bensulfuron-methyl	R	$Y = 104/[1+(X/32.2)^{0.46}]$	0.99	39.06	35
	S	$Y = 10.4+90/[1+(X/0.77)^{0.56}]$	0.99	1.11	
Cyclosulfamuron	R	$Y = 7.80+92.67/[1+(X/0.02)^{0.2}]$	0.96	0.035	130
	S	$Y = 15.66+85.73/[1+(X/0.0009)^{0.37}]$	0.95	0.0027	
Imazosulfuron	R	$Y = 105/[1+(X/3.78)^{0.23}]$	0.94	5.294	183
	S	$Y = 97.4/[1+(X/0.032)^{0.17}]$	0.98	0.029	
Pyrazosulfuron-ethyl	R	$Y = 20.7+80.9/[1+(X/5.11)^{0.58}]$	0.99	12.87	31
	S	$Y = 27.6+72.1/[1+(X/0.22)^{1.2}]$	0.99	0.42	
Imidazolinone herbicides					
Imazapyr	R	$Y = 92.08/[1+(X/3.10)^{0.46}]$	0.97	2.16	1.4
	S	$Y = 91.66/[1+(X/2.34)^{0.45}]$	0.95	1.51	
Imazaquin	R	$Y = 97.02/[1+(X/0.62)^{0.48}]$	0.98	0.53	0.6
	S	$Y = 97.3/[1+(X/1.02)^{0.42}]$	0.99	0.89	

^aRegression equation generated using herbicide concentration in μM.

^bI₅₀ values were the concentrations of ALS inhibiting herbicides that reduced ALS activity by 50%.

^cR/S ratios were calculated relative to the I₅₀ value of the susceptible biotypes of *M. vaginalis*.

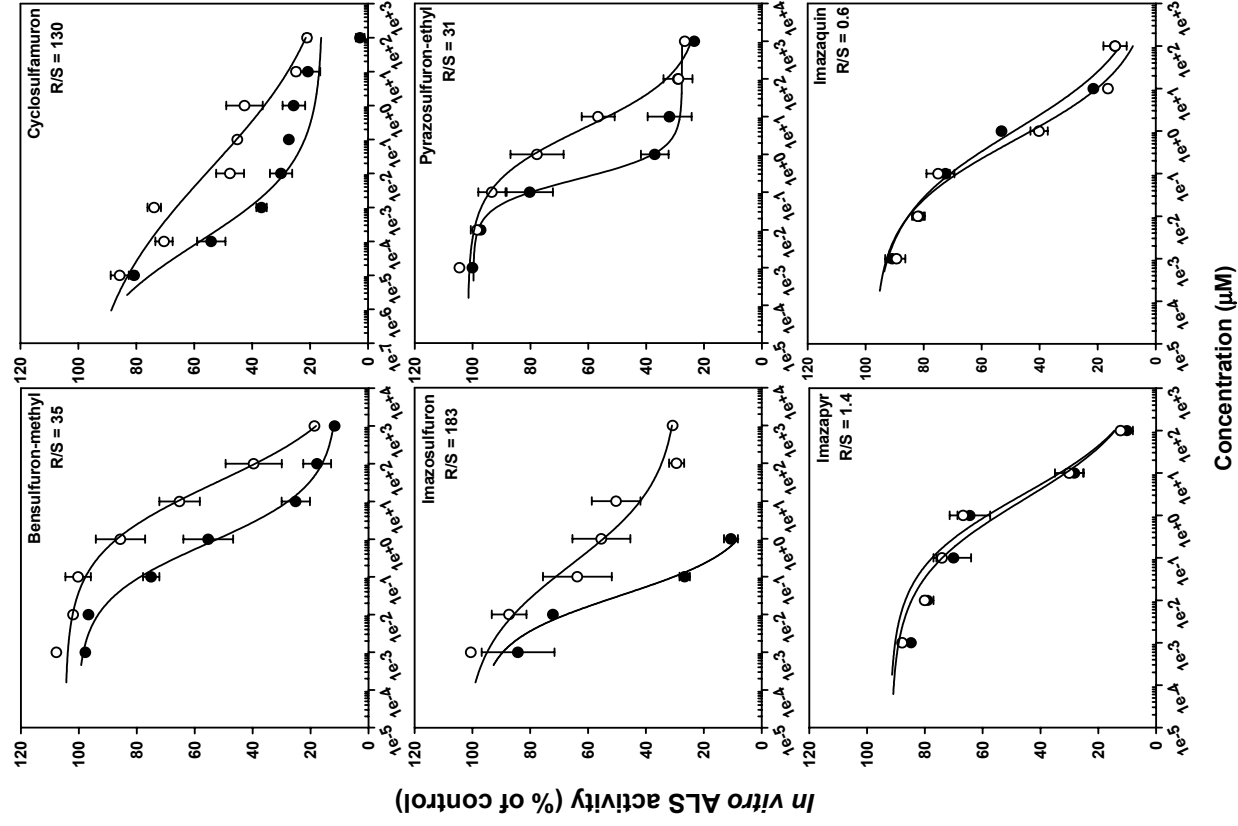


Figure 2. Effects of ALS inhibiting herbicides on *in vitro* ALS activity of partially purified enzyme from susceptible (○) and resistant (●) biotypes of *M. vaginalis*. Each data point is the mean ± S.E. of three replications. Corresponding I₅₀ values are presented in Table 7.

또한 SU계 제초제인 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl을 처리한 물달개비에 CPCA 처리에 기인한 acetolactate 축적은 감수성 생태형에 비해 저항성 생태형에서 훨씬 높았다(Table 10와 Figure 3). 각각의 R/S I₅₀ 비율은 imazosulfuron에 33배 그 리고 pyrazosulfuron-ethyl 13배 차이를 보였다. Imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 저항성은 *in vivo* ALS 분석보다 *in vitro* ALS 분석에서 훨씬 높았다. 이들 연구 결과는 SU계 저항성 생태형의 저항성 기구는 변형된 작용점 효소를 의미한다. 물달개비의 SU계 저항성의 근본은 올챙고랭이와 미국외풀의 저항성과 유사하게 나타 났고, 그 중에서 ALS 저해제 제초제에 저항성은 작용점 효소의 둔감성과 관련되어 있다(Shibuya et al. 1999; Uchino and Watanabe, 2002). 일반적으로 ALS 저해제 제 초제에 저항성은 작용점에 유전적 돌연변이에 의해서 일어난다.

전남지방에서 수집된 물달개비의 9개 수집종은 imazosulfuron에 저항성이고 수집종 간에 다른 저항성 수준을 보인다고 결론을 내릴 수 있다. 가장 저항성 수집종은 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl과 같은 다 른 SU계 제초제에 교차저항성을 보였으나, imidazolinone 제초제인 imazapyr와 imazaquin에는 교차저항성을 보이지 않았다. 저항성 물달개비 생태형은 다중저항성

Table 10. *In vivo* inhibition of ALS activity of susceptible (S) and resistant (R) biotypes of *M. vaginalis*.

Herbicide	Biotype	Regression equation ^a	R ²	I ₅₀ ^b (μM)	R/S ^c
Imazosulfuron	R	$Y = 102/[1 + (X/8.17)^{0.32}]$	0.99	9	33
	S	$Y = 103/[1 + (X/0.22)^{0.24}]$	0.97	0.27	
Pyrazosulfuron-ethyl	R	$Y = 99.6/[1 + (X/19.4)^{0.31}]$	0.98	19	13
	S	$Y = 103/[1 + (X/1.28)^{0.26}]$	0.98	1.50	

^aRegression equation generated using herbicide concentration in μM.

^bI₅₀ values were the imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl concentrations that reduced ALS activity by 50%.

^cR/S ratios were calculated relative to the I₅₀ value of the susceptible biotype of *M. vaginalis*.

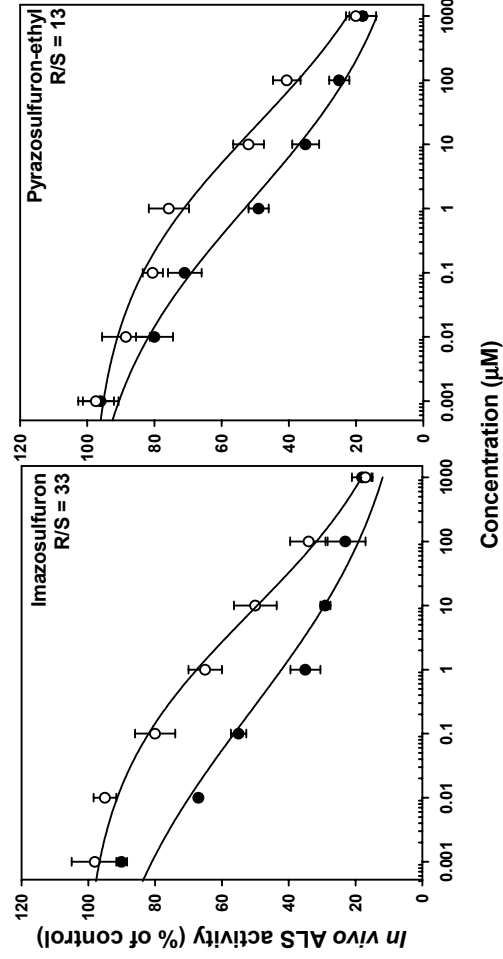


Figure 3. Effects of imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl on *in vivo* ALS activity of susceptible (●) and resistant (○) biotypes of *M. vaginalis*. Each data point is the mean \pm S.E of three replications. Corresponding I_{50} values are presented in Table 8.

을 보이지 않았다. 토양 처리제초제 mefenacet와 pyrazolate 그리고 경엽처리 제초제 2,4-D와 bentazon은 저항성과 감수성 물담개비 생태형을 방제하는데 사용할 수 있다. 만일 눈에 저항성 잡초와 다른 잡초가 발생하였을 때 이들 잡초를 동시에 방제하기 위해서는 SU계 혼합제인 ethoxysulfuron + fentrazamide를 사용할 수 있으나 이들 혼합제의 사용은 특별하게 필요한 경우만 제한적으로 사용해야 한다. ALS 저항성은 기계적, 재배적, 생물학적 잡초방제뿐만 아니라 다른 제초제 사용과 같은 종합방제를 사용하여 관리할 수 있다. 한국의 남부지방에서 저항성 물담개비 발생은 벼의 수량을 70% 감소시키는 원인이 된다. 그러므로 저항성 관리를 위해 SU계 저항성 물담개비 분포와 진파를 포함한 계속적인 조사가 절대적으로 필요하다.

4. 결과 요약

전남지방에서 수집한 9개 물달개비 수집종을 whole-plant bioassay에 의해 SU계 제초제인 imazosulfuron에 저항성을 조사하였다. 모든 수집종은 imazosulfuron에 저항성으로 확인되었다. 저항성 수집종의 GR₅₀는 감수성 수집종에 비해 1,112 - 3,172(수집종 #9)배 높았다. 수집종 #9는 다른 SU계 제초제인 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 교차저항성을 보였으나, imidazolinone계 제초제인 imazapyr와 imazaquin에는 교차저항성이 없었다. 저항성 생태형은 SU계와 다른 작용기작을 가진 mefenacet와 pyrazolate 추천량을 토양에 처리했을 때 완전 방제되었다. 또한, 경엽처리 제초제인 2,4-D와 bentazon 처리에 의해서도 저항성과 감수성 생태형이 방제되었다. SU계 혼합제 중 ethoxysulfuron + fentrazamide를 제외하고는 저항성 물달개비를 방제하지 못했다. 벼 수량은 직파재배에서 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 물달개비에 의해 손제초에 대비하여 70% 감소하였다. 한편, 벼 수량은 이앙재배에서 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 물달개비에 의해 pyrazolate + butachlor 처리에 대비하여 44% 감소하였다. 저항성 생태형의 *in vitro* ALS 활성은 imazosulfuron, bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron 및 pyrazosulfuron-ethyl에 각각 183, 35, 130 및 31 배 감수성 생태형에 비해 저항성이었다. Imidazolinone 제초제인 imazapyr와 imazaquin에 대한 저항성과 감수성 생태형간의 *in vitro* ALS 활성은 유사하였다. 또한 저항성 생태형의 *in vivo* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 SU계 제초제인 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 대해 덜 영향을 받았다. *In vitro*와 *in vivo* ALS 활성 결과로 볼 때 SU계 제초제 물달개비 저항성 기구는 작용점 효소 ALS 변형에 기인되는 것을 생각할 수 있다. 효소분석에서 저항성 수준은 whole-plant 분석에서 보다 훨씬 낮기 때문에 제초제 대사와 같은 다른 저항성 기구도 관련될 수가 있다.

제6절 논에서 Sulfonylurea계 제초제 저항성 미국외풀 방제법 및 저항성 기작

1. 서언

이 연구 목적은 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 대한 미국외풀의 저항성 유무를 확인하고, 벼 수량에 관한 저항성 미국외풀의 영향을 결정하며, 저항성 미국외풀의 방제를 위한 대체 제초제를 찾는 데 있다. 그리고 ALS 효소의 둔감성이 저항성 기작인지를 알아보는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 식물재료

SU계 제초제에 저항성으로 의심된 미국외풀을 2000년 전남지역에서 수집하였다. 이들 sample을 수집한 논은 주로 SU계 혼합제 pyrazosulfuron-ethyl + molinate을 8년 연속하여 처리하였다. 또한 미국외풀 종자는 제초제를 처리하지 않은 대전시 논에서 수집하여 이것을 감수성 생태형으로 사용하였다. 휴면 타파를 위해 종자는 4°C의 냉각고에 보관 후에 사용하였다.

나. SU계 제초제에 반응

종자는 본토양(식양토)으로 충진된 plastic pot(280cm² 표면면적)에 파종하고 온실(주/야: 30/25°C, 광주기:14/10 시간)에 두었다. 2엽기 때, pot의 물의 깊이를 3cm로 조절한 후 SU계 제초제인 imazosulfuron(0.6, 1.2, 2.3, 4.7, 9.4, 18.8, 37.5, 75, 150, 300, 600, 1,200 및 4,800 g ai ha⁻¹)과 pyrazosulfuron-ethyl(0.3, 0.7, 1.3, 2.6, 5.3, 10.5, 21, 42, 84, 168 및 336 g ai ha⁻¹)을 처리하였다. Imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl의 추천량은 각각 75와 21 g ai ha⁻¹이다. 그 밖의 조사항목, data 정리, Logistic equation, GR₅₀ 값 등은 앞의 제 5절 재료 및 방법과 동일하게 수행하였다.

다. SU계 저항성 미국외풀에 의한 벼 수량

포장 실험은 제초제 저항성 미국외풀이 발생하는 전남농업기술원 포장에서 수행하였다. 이들 포장은 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 혼합제를 8년 연속하여 처리하였다. 일미벼를 10일간 육묘하여 15 × 30 cm 재식거리로 2001년 5월에 손이앙하였다. Plot size는 4 × 5m로 하였다. 실험설계 및 비료사용은 제 5절과 동일하게 하였다. 다른 재배적인 관리는 표준 농촌진흥청 방법에 준하였다(RDA, 1998). 본 시험에 사용한 제초제(Tables 1과 2)는 이앙 후 10일(2엽기 미국외풀)에 추천량 사용하였다. m²당 생존개체수 및 지상부 건물중은 처리 후 50일에 조사하였다. 벼 수량은 plot 당 4.2m²로 세 곳을 수확하여 수량구성 요소를 조사하였다. 벼의 수량은 15% 수분이 되도록 건조한 후 grain 무게를 근거하여 계산하였다. Data는 SAS 프로그램(2000)을 이용하여 분산분석하였다. 처리 평균은 최소유의차 검정(P=0.05)으로 표시하였다.

라. 비 ALS 저해제 제초제에 의한 저항성 미국외풀 방제

본 실험은 저항성 미국외풀이 발생한 전남진흥원 수도 포장에서 수행하였다. 작용 기각이 다른 8가지 제초제를 SU계 저항성 미국외풀에 대한 방제 효과를 알아보기 위하여 사용하였다. 사용한 제초제는 Table 3에 제시하였다. Pyrazosulfuron-ethyl + molinate를 이앙 후 10일에 처리하고 butachlor, dimepiperate, dithiopyr, esprocarb, molinate, pretilachlor, pyrazolate 및 thiobencarb 입제를 미국외풀이 각각 1.5엽기와 4.5엽기인 이앙 후 20일과 30일에 처리하였다. 그러나 bentazon 액제는 이앙 후 40일, 미국외풀이 5.5-6엽기 때 처리하였다. Plot size는 1 × 1.2m로 하였다. 실험설계는 3만 부 완전임의배치로 하였다. 생존 개체수, 지상부 건물중 및 벼 약해는 처리 후 40일에 조사하였다. 벼 약해에 관한 달관 평균은 0-9로 표시하였고, 0는 벼 약해가 없는 것으로 나타내었고, 9는 완전히 죽은 것으로 표시하였다. 다른 과정은 SU계 저항성 미국외풀에 의한 벼의 수량 실험과 동일하게 하였다.

마. SU계 제초제 혼합제에 의한 저항성 미국외풀 방제

7개 SU계 혼합제와 2개 비 SU계 혼합제가 SU계 저항성 미국외풀에 대한 효과를 알아보기 위하여 사용되었다. 사용한 제초제 종류는 Table 4에 제시하였다. 다른 과정

은 SU계 저항성 미국외풀에 의한 벼의 수량 실험과 동일하게 수행하였다.

바. 포장에서 SU계 저항성 미국외풀 방제 가능 제초제 선발
토양처리제 제초제 경우, 저항성 미국외풀이 감염된 전남농업진흥원 수도포장에서 2002년에 수행하였다. 담수직파 경우, 미리 밭아시킨 일미벼 종자를 ha당 50kg 수준으로 손으로 파종하였다. 이앙재배는 10일 묘를 사용하여 15 x 30cm 간격으로 기계이앙하였다. 그 밖의 재배적인 방법은 농촌진흥청 표준재배법(1998)에 준하였다. 처리구는 3 x 5m로 난괴법 3반복으로 배치하였다. 사용한 제초제, 제형, 약량 및 처리시기는 Table 5에 제시하였다. 제초효과에 대한 달관평가(0-9, 0는 전혀 방제되지 않음, 9는 완전방제)는 처리 후 10, 20, 30일에 하였다. 또한 벼에 대한 달관평가도 같은 시기에 평가하였다.

경엽처리제 제초제 경우, pyrazosulfuron-ethyl + molinate를 처리하고 생존한 물달개비에 Table 6에 제시한 제초제를 처리하여 저항성 생태형의 방제 여부를 알아보았다. 그 밖의 방법은 위의 토양처리제 경우와 동일하게 하였다.

사. *In vitro* ALS 분석

효소 추출과 분석은 Ray(1984) 방법을 약간 변형하여 사용하였다. 그 밖의 과정은 제 2절 간이진단법 실험과 동일하게 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 저항성 확인

수집종은 1990년 이후로 8년 연속하여 SU계 혼합제를 주로 처리한 벼 단작지 논에서 수집되었다. 논에서 미국외풀은 7년 동안 SU계 제초제에 의해 방제되었으나 1997년 이후로는 미국외풀의 방제 효과가 크게 떨어졌다. 그리고 이들 논에서 미국외풀은 우점잡초가 되었다. 이러한 관찰은 이들 포장에서 출현한 미국외풀이 저항성임을 의미한다.

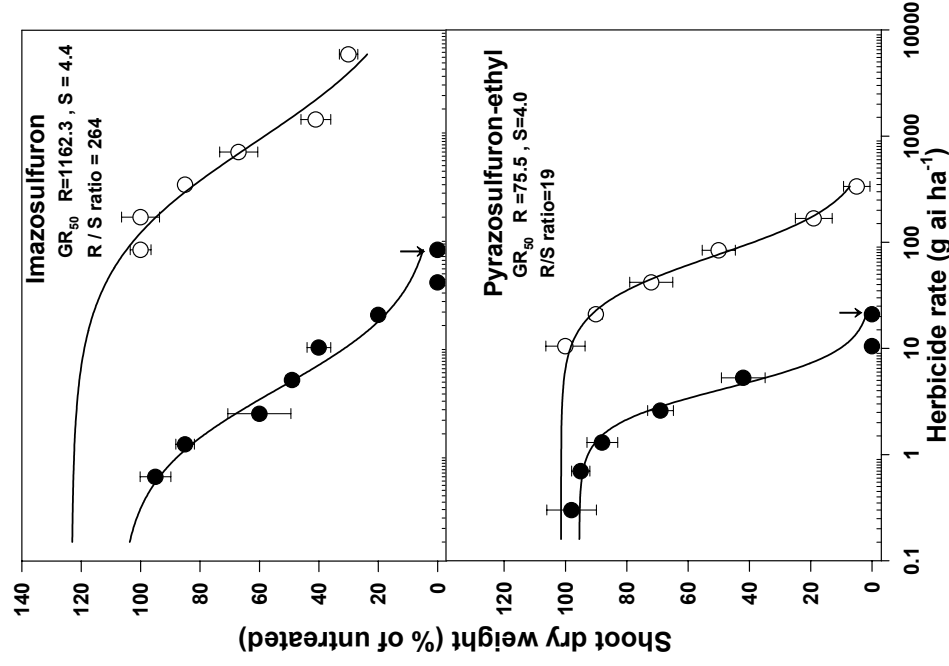


Figure. 1. Shoot dry weight of susceptible (●) and resistant (○) biotypes of herbicides in whole plant response assay. The herbicides were applied to 2 leaf *Lindera dubia* (L.) and shoot dry weight was determined 30 days after application. Vertical bars represent standard errors of the mean. Arrow (↓) indicates the recommended rate of imazosulfuron (75 g ai ha⁻¹) and pyrazosulfuron-ethyl (21g ai ha⁻¹) for rice paddy fields in Korea. Regression equations for imazosulfuron were $Y=107.2/[1+(X/3.9)^{1.08}]$, $R^2=0.97$ for susceptible and $Y=123.2/[1+(X/732.2)^{0.8}]$, $R^2=0.96$ for resistant biotype. Regression equations for pyrazosulfuron-ethyl were $Y=95.5/[1+(X/4.2)^{2.4}]$, $R^2=0.98$ for susceptible and $Y=101.4/[1+(X/75.7)^{1.7}]$, $R^2=0.99$ for resistant biotype.

수집종은 whole-plant 반응 분석에서 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 의해

높은 수준의 저항성이 존재하였다(Figure. 1). 감수성 미국외풀의 생태형은 앞서 언급한 제초제 각각의 추천량에 1/2 사용에 의해서도 완전하게 방제되었다. 그러나 저항성 생태형은 추천량의 16-32배에 의해서도 완전 방제되지 않았다. GR₅₀에 의한 저항성 생태형은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에 대해 265배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 대해 19배 저항성이었다. 본 연구와 유사하게 미국외풀은 일본에서도 SU계 저항성으로 보고되었다(Uchino et al., 2000).

나. SU계 저항성 미국외풀에 의한 벼 수량

이앙재배에서 SU계 저항성 미국외풀은 pyrazosulfuron-ethyl + molinate에 의해 단지 16% 방제되었으나, pyrazolate + butachlor 추천량 처리에 의해서는 완전방제 되었다(Table 1). 이앙재배 논에서 m²당 식물의 밀도는 이앙 후 50일에 무처리구에서 1,683개이었다. SU계 저항성 미국외풀은 이들 논에서 주요 잡초종이었다. 이앙재배에 서 pyrazosulfuron-ethyl + molinate를 처리한 plot에서 벼 수량은 무처리구 수량과 유사하였다. 이앙재배에서 생존한 미국외풀에 의한 수량감소는 pyrazolate + butachlor에 비교하여 약 24%이었다.

Table 1. Effects of soil applied herbicides on resistant biotype of *Lindera dubia* in transplanted rice culture. The herbicides were applied 10 days after rice transplanting. Parameters were recorded at 50 days after transplanting.

Weed control treatment	Rate (g ai ha ⁻¹)	No. of individual (m ⁻²)	Shoot dry weight (g m ⁻²)	Herbicide efficacy (%)
Pyrazosulfuron-ethyl +molinate	21 +1500	1,722	81	16
Pyrazolate + butachlor	1,800 +1,050	0	0	100
Untreated control		1,924	96	0

*Herbicide efficacy was based on reduction of shoot dry weight

Table 2. Yield reduction of rice as affected by competition with surviving resistant

biotype of *Lindera dubia* in transplanted fields. Herbicides were applied 10 days after transplanting.

Herbicide	Rate (g ai ha ⁻¹)	Panicles (No. m ⁻²)	Spikelets per panicle	Ripened grain (%)	1,000 grain (g)	Yield (kg 10a ⁻¹)	Yield index
Pyrazosulfuron-ethyl + molinate	21 +1,500	278 ^b	84 ^b	90.0 ^a	23.0 ^a	428 ^b	76.3
Pyrazolate + butachlor	1,800 +1,050	343 ^a	101 ^a	93.5 ^a	22.4 ^a	561 ^a	100
Untreated control		270 ^b	85 ^b	91.0 ^a	22.5 ^a	419 ^b	74.6

*Means within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according to the LSD test.

Table 3. Effects of sequential application at 20 days after transplanting (DAT) or 30 DAT of herbicides with other modes of action on surviving resistant *Lindera dubia* biotype after pyrazosulfuron - ethyl + molinate application at 10 days after transplanting. Parameters were recorded 40 days after application.

Herbicide	Rate	No. of survivors ^a			Shoot dry weight ^b (g/m ²)			Rice injury ^c (visual rate, 0~9)		
		20 DAT ^d	30 DAT	30 DAT	20 DAT	30 DAT	30 DAT	20 DAT	30 DAT	30 DAT

--- - %

reduction based on untreated check ---										
Bentazon ^e	1,600	100	100	100	100	0	0	0	0	0
Butachlor	1,500	100	69	100	86	1	0	0	0	0
Dimepiperate	2,100	71	65	82	73	0	0	0	0	0
Dithiopyr	90	100	87	100	95	0	0	0	0	0
Esprocarb	1,500	87	90	72	60	1	0	0	0	0
Molinate	1,500	30	33	27	15	0	0	0	0	0
Pertilachlor	600	77	59	94	79	1	0	0	0	0
Pyrazolate	1,800	100	94	100	91	0	0	0	0	0
Thiobencarb	2,100	100	56	100	85	0	0	0	0	0

^aNumber of individual in the untreated control averaged 1,683 per m².

^bShoot dry weight in the untreated control averaged 86g per m².

^cA rating of represents 0 no rice injury and 9 indicates complete kill.

^dHerbicide application at 20 days after transplanting (DAT) or 30 DAT.

^eBentazon was applied 40 DAT, at 5.5 to 6 leaf stage of *L. dubia*.

Pyrazosulfuron-ethyl + molinate를 처리한 구에서 m²당 수수와 수당 영화수는 이 양재배에서 pyrazolate + butachlor 처리구 보다 각각 19%와 17%가 적었다. 그러나 등숙율과 친립종과 같은 다른 수량구성요소는 모든 처리에서 같았다. 그러므로 벼 수량 감소는 수수의 수와 수당 영화수 감소에 의해 기인되는 것으로 볼 수 있다. 생존한 미국외풀의 높은 밀도는 벼의 분얼 능력을 심하게 제한하여 결국 벼 수량을 감소한다. 비록 본 연구에서는 직파재배에서 생존한 미국외풀에 의한 수량 감소는 연구하지 않았지만 직파재배에서 수량감소는 더 심할 것이다. 예를 들면, 벼 수량은 직파

벼재배에서 손제초제에 비교하여 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리로 인하여 생존한 저항성 물달개비에 의해 70% 감소하였다(Kuk et al., 2002). 한편, 이앙재배에서 pyrazolate + butachlor 처리에 비교하여 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 저항성 물달개비에 의하여 벼의 수량은 44% 감소하였다.

다. SU계 및 비 SU계 혼합제에 의한 저항성 미국외풀 방제

본 실험은 SU계 저항성 미국외풀이 감염된 논 포장에서 수행하였다. Pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 저항성 미국외풀은 토양처리제 butachlor, dithiopyr, pyrazolate 및 thiobencarb를 이앙 후 20일 째에 각각의 추천량으로 체계처리에 의해 완전히 방제되었다. 또한, 생존한 저항성 미국외풀은 dimepiperate, esprocarb 및 pretilachlor를 이앙 후 20일에 체계처리 했을 때 82, 72 및 94% 방제되었다. 그러나 molinate는 미국외풀을 거의 방제하지 못하였다. 한편, 이들 제초제 효과는 이앙 후 20일에 처리했을 때 보다 이앙 후 30일에 처리했을 때가 적었다. 또한, 경엽처리 제초제 bentazon을 생존한 미국외풀에 이앙 후 40일에 체계처리 하였을 때는 방제효과가 아주 높았다. 또한, SU계 저항성 미국외풀은 pretilachlor, carfenstrole 및 bifenox에 의해 방제된다는 보고가 있다(Uchino et al., 2000). 이들 연구 결과로 볼 때 SU계 저항성 미국외풀의 방제는 작용기작이 다른 제초제를 번갈아 사용하는 것이 가능함을 알 수 있었다. 추가적으로 사용한 제초제에 의한 벼의 약해는 처리 후 40일에 관찰되지 않았다.

비록 butachlor, dithiopyr, pyrazolate 및 thiobencarb를 이앙 후 20일에 처리할 때 SU계 저항성 미국외풀을 방제할 수 있더라도, 이들 제초제는 다년생 잡초를 방제하지 못한다. 또한 저항성 미국외풀이 감염된 논 포장은 올챙고랭이, 올방개 및 벼풀과 같은 다년생 잡초도 함께 발생할 수 있다. 논에서 일년생과 다년생 잡초를 방제하기 위하여 일년생을 방제할 수 있는 토양처리제인 molinate와 pyrazolate는 일반적으로 SU계 제초제와 혼합제로 사용한다. 그래서 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 물달개비를 방제하기 위하여 다양한 SU계 혼합제를 사용하였다(Table 4). SU계 혼합제 중에 bensulfuron-methyl + molinate, imazosulfuron + molinate와 ethoxysulfuron-ethyl + benfurasate + molinate 추천량 사용은 처리시기에 관계없이

저항성 미국외플을 방제하지 못하였다. 그러나 SU계 혼합제 중에 azimsulfuron + anilofos, bensulfuron-methyl + oxadiazon, pyrazosulfuron-ethyl + fentrazamide와 pyrazosulfuron-ethyl + anilofos + carfentrazon는 저항성 미국외플을 87 - 100% 방제하였다. 한편, SU계와 작용기작이 다른 butachlor + pyrazolate 및 MCPB + molinate + simetryn는 저항성 미국외플을 89 - 100% 방제하였다. 추가적으로 사용한 제초제에 의한 벼의 약해는 처리 후 40일에 관찰되지 않았다. 비록 약간의 SU계 혼합제가 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 미국외플을 방제할 수 있더라도 SU계 제초제와 작용기작이 다른 혼합제, MCPB + molinate + simetryne와 butachlor + pyrazolate를 사용하는 것이 SU계 저항성 미국외플을 관리하는데 필요하다.

라. 포장에서 SU계 저항성 미국외플 방제 가능성 제초제 선발

저항성 미국외플이 발생하는 수도포장을 선정하여 답수직파와 이앙제베에서 토양처리제 제초제 처리에 의한 방제효과를 알아보았다(Table 5). 답수직파제베의 경우, pyrazosulfuron-ethyl + mefenacet + dymuron과 pyrazosulfuron-ethyl + molinate와 같은 SU계 혼합제는 저항성 미국외플을 완전방제하기가 어려웠다. 그 밖의 thiobencarb, fentrazamide, oxadiagyl 단제 및 SU계 혼합제는 저항성 불달개비를 완전방제 할 수 있었다. 이들 사용제초제는 초기에는 약해가 다소 발생하였고, 특히 mefenacet 조합에서 심했다. 그러나 처리 후 30일 경에는 거의 회복되었거나 적었다. 이앙제베의 경우, pyrazosulfuron-ethyl + mefenacet 조합처리는 처리시기에 관계없이 미국외플 방제효과가 떨어졌다. 그 밖의 사용 제초제 모두는 미국외플을 100% 방제하였다. 이들 사용한 제초제에 대한 약해 증상은 거의 볼 수가 없었다.

Table 4. Effect of sequential application at 20 days after transplanting (DAT) or 30 DAT of sulfonylurea based mixtures on surviving resistant *Lindera dubia* biotype after pyrazosulfuron-ethyl + molinate application at 10 days after rice transplanting. Parameters were recorded 40 days after application.

Herbicide	Rate	No. of survivors ^a			Shoot dry weight ^b			Rice injury ^c (visual rate, 0~9)		
		20		30	20		30	20		30
		DAT ^d	DAT	DAT	DAT	DAT	DAT	DAT	DAT	
untreated check ...										
SU based mixture										
Azimsulfuron + anilofos	15 + 450	96	78	98	90	0	0	0	0	0
Bensulfuron- methyl + molinate	51 + 1,500	57	38	49	25	0	0	0	0	0
Bensulfuron- methyl + oxadiazon	39 + 240	79	59	94	96	0	0	0	0	0
Imazosulfuron + molinate	75 + 1,500	40	37	27	20	0	0	0	0	0
Pyrazosulfuron-ethyl + fentrazamide	21 + 300	100	69	100	88	0	0	0	0	0
Ethoxysulfuron + benfurasate + molinate	21 + 360 +1,500	0	30	45	40	1	0	1	0	0
Pyrazosulfuron-ethyl + anilofos + carfentrazone	15 + 450 + 30	100	46	100	87	1	0	1	0	0
Non SU based mixture										
Butachlor + pyrazolate	1,050 + 1,800	100	59	100	89	0	0	0	0	0
MCPB + molinate + simetryn	160 +1,600 + 300	47	80	97	89	1	0	1	0	0

^aNumber of individual in the untreated control averaged 1,683 per m².

^bShoot dry weight in the untreated control averaged 86g per m².

^cA rating of represents 0 no rice injury and 9 indicates complete kill.

^dHerbicide application at 20 days after transplanting (DAT) or 30 DAT.

Table 5. Effects of soil applied herbicides on resistant (R) biotypes of *L. dubia* in direct seeded and transplanted rice culture.

Cropping pattern	Herbicide	Formulation	Rate (g ai ha ⁻¹)	Application timing	Herbicidal efficacy			Rice injury		
					10	20	30DAA	10	20	30DAA
Wet-seeding	Thiobencarb	7%GR	2,100	5DBS	9	9	9	2	1	0
	Fentrazamide	1.9%SC	95	5DBS	9	8	8	2	1	0
	Oxadiagyl(-)	1.7%SC	68	5DBS	9	9	9	2	1	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+ mefenacet+dymuron	0.07+3.5+1.5GR	21+1,050+450	10DAS	8	6	4	3	2	1
	Bensulfuron-methyl+thiobencarb	0.17+7%GR	51+2,100	10DAS	9	9	9	2	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+ pyrazolate+simeetryn	0.05+3+0.7%GR	15+900+210	15DAS	9	9	9	2	2	1
	Pyrazosulfuron-ethyl+ pyriminobac+carfentrazone-ethyl	0.07+1+0.25%GR	21+30+75	15DAS	9	9	8.5	1	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+molinat	0.07+5%GR	21+1,500	15DAS	8	6	4	1	0	0

Transplanting	Oxadiazon	12%SC	480	2DBS	9	9	9	9	9	1	0	0
	Benzobicyclon(-)	3.5%SC	140	5DBS	9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	9 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	"	"	"	10DBS	9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	9 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	"	"	"	15DBS	9 <td>9 <td>8 <td>8 <td>8 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	9 <td>8 <td>8 <td>8 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	8 <td>8 <td>8 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	8 <td>8 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	8 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	Pyrazolate+butachlor	6+3.5GR	1,800+1,050	5DAS	9 <td>9 <td>8 <td>8 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	9 <td>8 <td>8 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	8 <td>8 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	8 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	Carfentrazon-ethyl+thiobencarb	0.25+7%GR	75+2,100	5DAS	9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	Azimsulfuron+thiobencarb	0.17+7%GR	51+2,100	10DAS	9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	9 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+mefenacet	0.07+3.5%GR	21+1,050	10DAS	8 <td>6 <td>4 <td>4 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	6 <td>4 <td>4 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	4 <td>4 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	4 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	"	"	"	15DAS	7 <td>6 <td>4 <td>4 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	6 <td>4 <td>4 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	4 <td>4 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	4 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+mefenacet+thiobencarb	0.17+1+5%GR	21+3000+1,500	10DAS	9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	9 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+pyrazolate+simetryn	0.05+3.+0.7%GR	15+900+210	10DAS	9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>2 <td>1 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>9 <td>2 <td>1 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>2 <td>1 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	9 <td>2 <td>1 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	2 <td>1 <td>0 <td>0</td> </td></td>	1 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	"	"	"	15DAS	9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac+carfentrazon	0.07+1+0.25%GR	21+30+75	15DAS	9 <td>9 <td>8 <td>8 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	9 <td>8 <td>8 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	8 <td>8 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	8 <td>0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	0 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0
	Thiobencarb+simetryn	7+1%GR	2,100+300	15DAS	9 <td>9 <td>9 <td>9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td></td>	9 <td>9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td></td>	9 <td>1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td></td>	1 <td>0 <td>0 <td>0</td> </td></td>	0 <td>0 <td>0</td> </td>	0 <td>0</td>	0

Pyrazosulfuron-ethyl + molinate를 파종 후 10일에 토양처리하고도 미국의풀은 방제되지 않았다. 따라서 생존한 저항성 미국의풀을 방제하기 위하여 경엽처리제를 다시 처리하였다(Table 6).

Table 6. Effects of foliar-application herbicides on the surviving *L. dubia* treated at 4-main leaf stage. The survival individuals of *L. dubia* were from the paddy fields treated with the mixture of pyrazosulfuron-ethyl plus molinate at 10 days after seeding.

Herbicide	Formulation	Rate (g ai ha ⁻¹)	Herbicidal efficacy			Rice injury		
			10	20	30DAA	10	20	30DAA
Bentazon	40%SL	1,600	9	9	9	0	0	0
Bentazon+2,4-D	40+40%SL	1,200+140	9	9	9	1	1	1
Bentazon+MCPP-P	25+3.75%SL	1,000+150	9	9	9	2	1	1
Bentazon+MCPA	31+4.6%SL	930+138	9	9	9	2	1	1
Carfentrazone-ethyl+MCP	40%WP+50%SL	15+150	9	9	9	2	1	0

처리한 모든 경엽처리제는 저항성 미국의풀을 효과적으로 방제할 수 있었다. 비록 bentazon 단제 처리로도 미국의풀을 완전 방제할 수 있었으나, bentazon 약량을 줄이면서 이행형 제초제인 2,4-D와 MCPA 등의 제초제와 합제로 사용하는 것이 더 효과적이라 할 수 있다. 왜냐하면 bentazon은 접촉형제초제로서 눈에 완전히 배수가 되지 않아 식물체가 접촉되지 않으면 후기에 재생의 문제가 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서 최종 선발하여 사용한 토양처리제와 경엽처리제 사용에 의해 저항성 미국의풀을 효과적으로 방제할 수 있었다.

마. ALS 억제

저항성 및 감수성 미국의풀의 지상부 조직으로부터 추출한 *in vitro* ALS의 특이 활

성은 각각 543 ± 75 과 538 ± 62 acetoin량 $\text{nmol hr}^{-1} \text{mg}^{-1}$ protein로서 유사하였다. 이 연구는 저항성은 저항성 생태형에서 작용점(ALS)의 과다발현에 의해 기인되지 않음을 의미한다. 저항성 생태형의 *in vitro* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에 대해 40배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 대해 30배 높았다(Figure. 2). 이들 결과는 저항성 생태형의 SU계 저항성 기작이 작용점 변형을 의미한다. 미국 외풀의 SU계 저항성은 올챙고랭이, 물달개비, 외풀류와 유사하는 것으로 나타났다. 그리고 이들 ALS 저해제에 제조제 저항성은 작용점 효소의 민감성이 감소하는 것과 관련되었다(Kuk et al., 2002; Shibuya et al., 1999; Uchino & Watanabe, 1999).

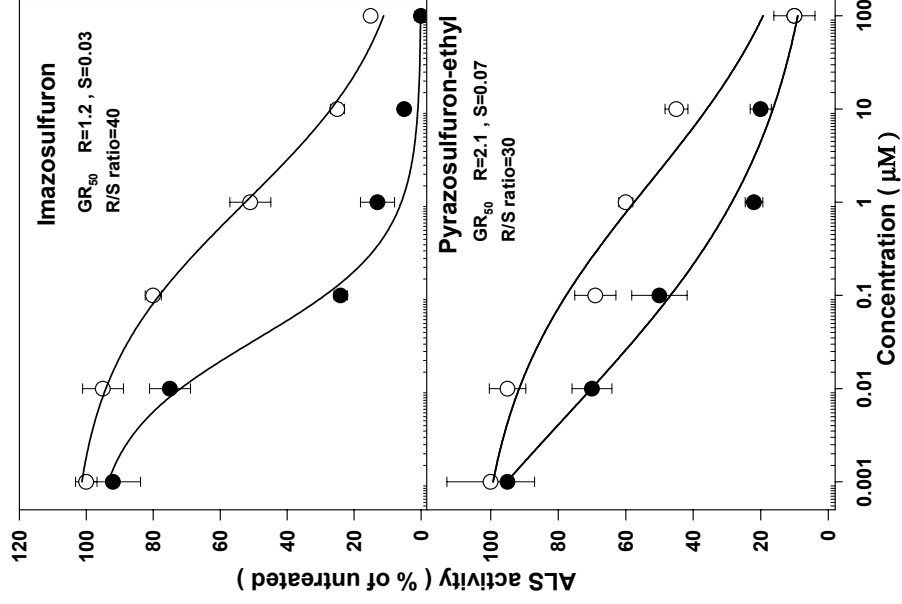


Figure. 2. Effects of imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl on *in vitro* ALS

activity of partially purified enzyme from susceptible (●) and resistant (○) biotypes of *L. dubia*. Each data point is the mean \pm S.E of three replication. Regression equations for imazosulfuron were $Y=98.8/[1+(X/0.03)^{0.8}]$, $R^2=0.99$ for susceptible and $Y=105.6/[1+(X/0.98)^{0.46}]$, $R^2=0.99$ for resistant biotype. Regression equations for pyrazosulfuron-ethyl were $Y=157.0/[1+(X/0.0047)^{0.3}]$, $R^2=0.99$ for susceptible and $Y=106.2/[1+(X/1.59)^{0.4}]$, $R^2=0.95$ for resistant biotype.

전남지방에서 수집된 미국의 풀의 수집종은 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 저항성이라고 결론을 내릴 수 있다. Pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 저항성 미국의 풀은 토양처리제인 butachlor, dithiopyr, pyrazolate, thiobencarb와 경엽 처리제인 bentazon의 체계처리에 의해서 방제할 수 있었다. 만일 어떤 경우에 SU계 제초제가 논에서 다른 잡초종을 동시에 방제하는데 필요 한다면, azimsulfuron + anilofos, bensulfuron-methyl + oxadiazon, pyrazosulfuron-ethyl + fentrazamide와 pyrazosulfuron-ethyl + anilofos + carfentrazon는 저항성 미국의 풀을 방제하는데 사용할 수 있다. 그러나 이들 혼합제의 사용은 특별한 필요에 기초하여 제한되어야 한다. ALS 저항성은 기계적, 재배적, 생물학적 잡초방제뿐만 아니라 다른 제초제 사용 등 종합적인 체계를 사용하여 관리되어야 한다. 한국의 남부지방에서 발생한 저항성 미국의 풀은 벼 수량을 24%까지 감소하였다. 그러므로 저항성 관리를 위해 SU계 저항성 미국의 풀의 분포 및 전파 등의 계속적인 조사가 필요하다.

4. 결과 요약

전남지방에서 수집한 미국의 풀이 SU계 제초제인 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl 에 대해 저항성인지를 whole-plant 반응 bioassay로 알아보았다. 수집종은 이들 두 제초제에 저항성이었다. 저항성 수집종의 GR_{50} 는 감수성 수집종에 비해 imazosulfuron에 의해 264배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 의해 19배 높았다. Pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 저항성 미국의 풀은 토양처리 제초제인 butachlor, dithiopyr, pyrazolate 및 thiobencarb 그리고 경엽처리 제초제인 bentazon에 의해 방제되었다. 또한, azimsulfuron + anilofos, bensulfuron-methyl + oxadiazon, pyrazosulfuron-ethyl + fentrazamide 및 pyrazosulfuron-ethyl + anilofos + carfentrazon과 같은 SU계 혼합제는 생존한 미국의 풀을 방제하는데 사용할 수 있

다. 그러나 이들 혼합제의 사용은 특별하게 필요한 경우만 제한되어야 한다. 그래서 butachlor + pyrazolate 또는 MCPB + molinate + simetryn과 같은 비 SU계 혼합제 체계처리가 SU계 제조제 처리 후 생존한 저항성 미국외풀을 방제하는데 사용할 수 있다. 이양제제에서 벼 수량은 pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리 후 생존한 미국외풀은 pyrazolate + butachlor 처리에 대비하여 24% 감소하였다. 저항성 생태형의 *in vitro* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에 대해 40배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에 의해 30배 더 저항성이었다. *In vitro* ALS 분석결과 볼 때 SU계 제조제에 미국외풀 저항성기구는 작용점 효소(ALS) 변형에 기인되었다.

제7절 Imazosulfuron에 저항성 마디꽃의 교차저항성과 효과적인 방제 가능 제초제 선발

1. 서언

비록 SU계 제초제 저항성 마디꽃이 이미 일본에서 보고되었으나(Itoh et al. 1998, Blancaver et al. 2001; Blancaver et al. 2002), 작용기작이 다른 제초제에 대한 다중 저항성에 관한 연구는 수행되지 않았다. 그러므로 저항성 생태형을 방제하는데 효과적 인 제초제 rotation에 관한 정보를 가질 수 없다. 또한 교차저항성 pattern이 한국에 발생한 마디꽃과 일본에서 발생한 마디꽃간에 동일 하는지도 모른다.

그래서 본 연구 목적은 ALS 저해제 제초제에 마디꽃의 저항성 수준을 알아보고 저항성 마디꽃을 방제할 수 있는 대체 제초제를 찾고, ALS 효소의 둔감성이 저항성 기작인지를 결정하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 식물재료

SU계 저항성 마디꽃의 종자는 2000년 전남농업기술원의 논 포장에서 수집하였다. 이들 논 포장은 주로 SU계 혼합제인 imazosulfuron(0.25%) + molinate(5%) 및 pyrazosulfuron-ethyl(0.07%) + molinate(5%)를 8년 연속하여 사용하였다. 또한 제초제를 처리하지 않은 대전시 논에서 마디꽃 종자를 수집하여 이것을 감수성으로 사용하였다. 휴면타파를 위해 종자는 1개월 동안 4°C에 저장하였다.

나. ALS 저해제 제초제에 반응

종자는 논토양(식양토)으로 충진된 plastic pot(280cm² 표면적)에 파종하고 온실(주/야: 30/25°C, 광주기:14/10 시간)에 두었다. 파종 후 12일, 2엽기 때, pot의 물의 깊이를 3cm로 조절한 후 ALS 저해제 제초제인 0.1% bensulfuron-methyl(0.4, 0.8, 1.6, 12.8, 25.5, 51, 102, 204, 408 및 816 g ai ha⁻¹), 0.2% cyclosulfamuron(0.5, 0.9, 1.9, 3.8, 7.5, 15, 30, 60, 120, 240, 480 및 960 g ai ha⁻¹), 0.25% imazosulfuron(0.15, 0.3,

0.6, 1.2, 2.3, 4.7, 9.4, 18.8, 37.5, 75, 150, 300, 600, 1,200 및 4,800 g ai ha⁻¹), 0.07% pyrazosulfuron-ethyl(0.15, 0.3, 0.7, 1.3, 2.6, 5.3, 10.5, 21, 42, 84, 168 및 336 g ai ha⁻¹), 2.5% imazapyr(Charper; 0.98, 1.95, 3.9, 7.81, 15.63, 31.25, 62.5 및 125 g ai ha⁻¹) 및 20% imazaquin(Toneup; 0.625, 1.25, 2.5, 5, 10, 20, 40 및 80 g ai ha⁻¹)를 처리하였다. Imazaquin(액제)을 제외한 모든 제초제는 입제형태로 담수한 폼트에 처리하였다. 각 제초제의 추천량, 조사항목, data 정리 등은 앞의 실험 물달개비 경우와 동일하게 하였다.

다. 비 ALS 저해제 제초제에 대한 반응

ALS 저해 제초제와 작용기작이 다른 8가지 제초제, butachlor(Machet; 5%), carfentrazone(0.3%), fentrazamide(1%), mefenacet(1.5%), pretilachlor(Solnet; 2%), pyrazolate(6%), simetryn(1.2%) 및 thiobencarb(Sadan; 7%)를 SU계 저항성 마디꽃의 방제 효과를 알아보기 위하여 사용하였다. 제초제는 파종 후 5일, 12일(2엽기) 및 30일(6엽기)에 처리하였다. 제초제는 입제 형태로 담수한 폼트에 처리하였다. 생존개체 수와 지상부 건물중은 파종 후 70일에 조사하였다. 다른 실험과정은 앞의 ALS 저해제 제초제의 반응 실험과 동일하게 하였다.

라. SU계 혼합제에 대한 반응

SU계 저항성 마디꽃의 반응을 알아보기 위하여 SU계 혼합제 제초제를 사용하였다. 사용한 제초제는 bensulfuron-methyl + butachlor(Mandri, 0.17 + 2.5%), bensulfuron-methyl + molinate(Pododaejang, 0.17 + 5%), cyclosulfuron + dithiopyr (Myeongsubi, 0.2 + 0.3%), cyclosulfamuron + molinate(Seonbongjang, 0.2 + 7%), imazosulfuron + mefenacet(Superknilson, 0.25 + 3.5%), imazosulfuron + molinate (Nondamaegold, 0.25 + 5%), pyrazosulfuron-ethyl + molinate(Nonanmae, 0.07 + 5%), pyrazosulfuron-ethyl + thiobencarb(Superyunani, 0.07 + 7%), pyrazosulfuron-ethyl + anilofos + carfentrazone(Bujadeul, 0.05 + 1.5 + 0.1%), butachlor + pyrazolate(Pumasi, 3.5 + 6%) 및 MCPB + molinate + simetryn (Puranna, 0.8 + 8 + 1.5%) 이었다. 이들 제초제의 모든 제형은 입제이다. 다른 과정은 ALS 저해제 제초제 반응 실험과 동일하게

수행하였다.

마. 포장에서 SU계 저항성 마디꽃 방제 가능 제초제 선발
토양처리 제초제 경우, 저항성 마디꽃이 감염된 전남농업진흥원 수도포장에서 2002년에 수행하였다. 담수직파 경우, 미리 말아시킨 종자를 ha당 50kg 수준으로 손으로 파종하였다. 이앙제베는 10일 묘를 사용하여 15 × 30cm 간격으로 기계이앙하였다. 그 밖의 재배적인 방법은 농촌진흥청 표준재배법(1998)에 준하였다. 처리구는 3 × 5m로 난괴법 3반복으로 배치하였다. 사용한 제초제, 제형, 약량 및 처리시기는 Table 3에 제시하였다. 제초효과에 대한 달관평가(0-9, 0는 전혀 방제되지 않음, 9는 완전방제)는 처리 후 10, 20, 30일에 하였다. 또한 벼에 대한 달관평가도 같은 시기에 평가하였다. 경엽처리제 제초제 경우, 저항성 마디꽃이 감염된 전남 수도포장에서 2002년 수행하였다. Pyrazosulfuron-ethyl + molinate를 처리하고 생존한 마디꽃에 Table 4에 제시한 제초제를 처리하여 저항성 생태형의 방제 여부를 알아보았다. 그 밖의 방법은 위의 토양처리제 경우와 동일하게 하였다.

바. *In vivo* ALS 분석

In vivo acetolactate 축적은 Gerwick et al. (1993)의 방법을 약간 변형하여 사용하였다. Simpson et al. (1995)는 *in vivo* ALS 분석하는데 Gerwick et al. (1993) 방법을 사용하였다. 그 밖의 구체적인 방법은 제 2절 실험 간이진단법과 동일하게 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. ALS 저해제 제초제에 대한 반응

마디꽃에 대한 SU계 제초제 효과는 1999년 이후로 크게 감소하여 마디꽃이 일부지역에서 우점잡초가 되고 있다. 이것은 마디꽃 개체들이 SU계 제초제에 저항성이 발현되었던 것으로 의심된다. 의심된 마디꽃 sample의 제초제 반응 곡선은 Figure 1에 제시하였다. 반응곡선으로 계산한 GR₅₀ 값으로 볼 때 의심된 sample은 SU계 제초제에

확실한 저항성이었다(Figure 1). 저항성 생태형은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에 약 230배 저항성이었다. 일본에서 발생한 저항성 마디꽃은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에 95배 저항성이었다(Blancaver et al. 2001). 이들 두 생태형간에 직접적인 비교는 할 수 없다. 왜냐하면 생태형이 수집된 지역 즉 환경조건, 실험조건, 실험에 사용된 식물체 크기 및 기타 요인에 따라 저항성 수준에 차이가 있기 때문이다. 가장 중요한 것은 저항성 개체를 선발했던 제초제가 다른 것이다. 일본(Blancaver et al. 2001)에서는 bensulfuron-methyl 그리고 한국에서는 imazosulfuron 이었다. 한국에서 감수성 마디꽃은 imazosulfuron 추천량에 의해 완전 방제되었다. 그러나 저항성 마디꽃은 추천량의 2-8배 처리에 의해서도 단지 10 - 50% 방제 되었다. 이것은 SU계 혼합제를 전에 노출했던 수집종은 imazosulfuron에 저항성임을 의미한다. 다른 연구들도 ALS 저항성은 ALS 제해제를 4-7년 연속하여 처리한 경우 발생한다고 보고하였다(Kuk et al. 2003; Sprague et al. 1997).

Imazosulfuron에 저항성 마디꽃은 다른 SU계 제초제인 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron 및 pyrazosulfuron-ethyl에 교차저항성이 있으나, imidazolinone계 제초제인 imazapyr와 imazaquin에는 교차저항성이 없었다. 감수성 마디꽃은 앞의 각각 제초제의 추천량의 1/2량 처리에 의해 완전히 방제되었다. 그러나 저항성 생태형은 이들 추천량의 2배 처리에 의해 단지 20-50% 방제되었다. GR₅₀에 근거하여 4가지 SU계 제초제에 마디꽃의 저항성 정도는 imazosulfuron > cyclosulfamuron > bensulfuron-methyl > pyrazosulfuron-ethyl 순으로 높았다. 또한, SU계 저항성 물달개비는 다른 SU계 제초제에 교차저항성이 있다고 하였으나 imidazolinone계 제초제인 imazaquin와 imazapyr에는 교차저항성이 없다는 유사한 보고를 하였다(Kuk et al. 2003). 다른 ALS 저항성 잡초종은 다른 교차저항성을 보였다. 예를 들면 chlorsulfuron에 저항성 가시상추는 imidazolinone계 제초제, imazethapyr와 imazapyr 뿐만 아니라 8가지 SU계 제초제에 교차저항성을 보였다. 그러나 imidazolinone계 제초제인 imazaquin에는 교차저항성이 없었다(Mallory-Smith et al. 1990).

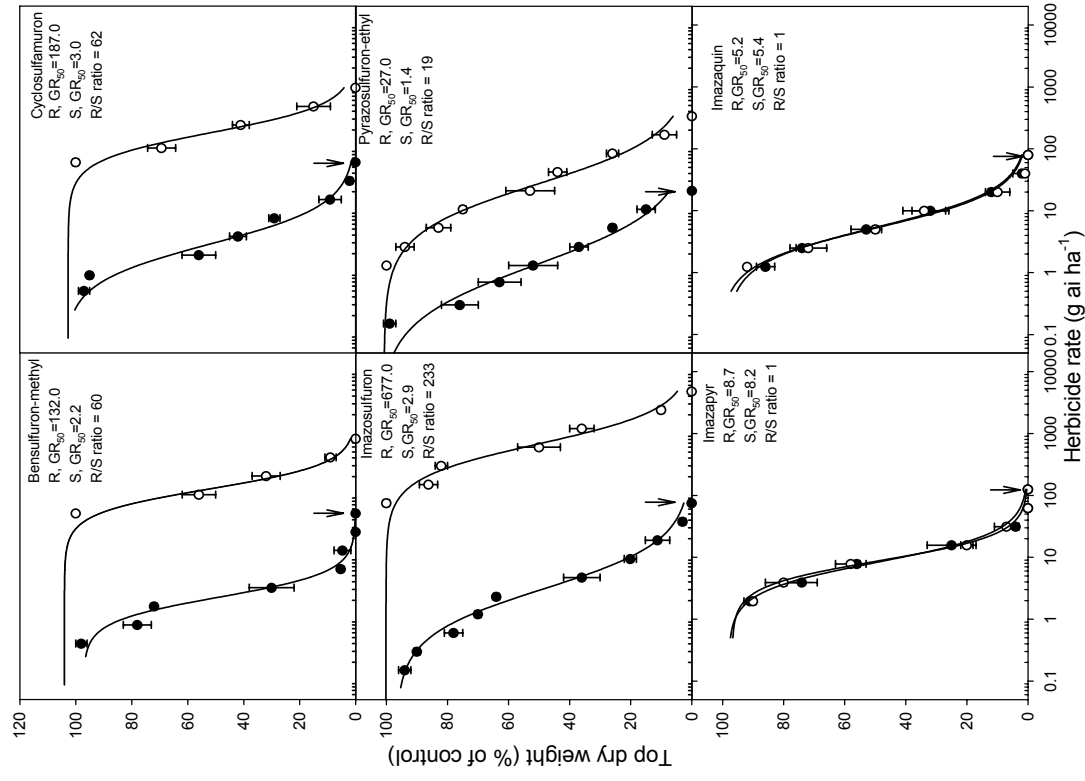


Figure 1. Top dry weight of susceptible (●) and resistant (○) biotypes of *Rotula indica* as affected by ALS inhibiting herbicides in whole plant assay. Herbicides were applied at 2 leaf stage and shoot dry weight was determined 20 DAT. Vertical bars represent standard errors of the mean. Arrow indicates the recommended rate of bensulfuron-methyl (51 g ai ha⁻¹), cyclosulfamuron (60 g ai ha⁻¹), imazosulfuron (75 g ai ha⁻¹), and pyrazosulfuron-ethyl (21 g ai ha⁻¹) for rice and the recommended rate of imazapyr (125 g ai ha⁻¹) and imazaquin (80 g ai ha⁻¹) for non crop lands in Korea.

나. 다른 제초제에 대한 반응

저항성 마디꽃은 작용기작이 다른 제초제에는 다중저항성을 보이지 않았다(Table 1). 저항성과 감수성 생태형은 fentrazamide 또는 mefenacet 추천량의 처리시기에 관계없이 방제되었다. 또한 두 생태형은 butachlor, carfentrazone 및 pretilachlor와 같은 다른 작용기작을 가진 제초제에 의해 방제되었다. 그러나 이들 제초제의 효과는 초기 처리(파종 후 5일과 12일)보다 후기처리(파종 후 30일)에서 적었다. 또한 SU계 저항성 물달개비 경우도 작용기작이 다른 제초제에 다중저항성이 없다고 하였다(Kuk et al. 2003). 이들 결과는 SU계 저항성 마디꽃의 방제는 작용기작이 다른 제초제를 교호 처리에 의해 가능함을 의미한다. 효과적인 제초제 추천은 실험효과에 기초되어야 한다. 왜냐하면 pyrazolate, simetryn 및 thiobencarb는 어떤 처리시기에는 저항성 및 감수성 생태형을 방제하지 못하기 때문이다.

다. SU계 혼합제에 대한 반응

비록 butachlor, carfentrazone, fentrazamide, mefenacet와 pretilachlor가 SU계 저항성 마디꽃을 방제할 수 있더라도 이들 제초제들은 다년생잡초를 방제할 수 없다. 또한 저항성 마디꽃이 감염된 논 포장은 올챙고랭이, 올방개 및 벼풀과 같은 다년생 잡초도 감염될 수 있다. 논 포장에서 일부 다년생 잡초를 방제하기 위하여 SU계 제초제는 일반적으로 butachlor, carfentrazone, fentrazamide, mefenacet, pretilachlor, pyrazolate, simetryn과 thiobencarb 등과 합제로 사용한다. 제초제 혼합제 cyclosulfamuron + dithiopyr, imazosulfuron + mefenacet, pyrazosulfuron-ethyl + anilofos + carfentrazone, butachlor + pyrazolate, 그리고 MCPB + molinate + simetryn는 저항성 마디꽃을 95-100% 방제하였다(Table 2). 그러므로 작용기작이 다른 SU계 혼합제 사용 또는 앞에서 언급한 적어도 두 조합 제초제와 같은 SU계 제초제가 아닌 작용기작이 다른 제초제를 사용하여 SU계 저항성 잡초종을 방제할 수 있었다. SU계 제초제인 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl 각각의 제초제를 molinate와 조합처리하는 저항성 생태형을 거의 방제하지 못하였다. 왜냐하면 molinate가 물달개비와 마디꽃과 같은 광엽잡초를 방제

Table 1. Effects of herbicides with other modes of action on the susceptible (S) and resistant (R) biotypes of *Rotala indica* treated at 5, 12, and 30 d after seeding. Parameters were recorded 70 d after seeding.

Herbicide	Rate (g ai ha ⁻¹)	No. of survivors ^a						Above ground biomass ^b					
		5 DAS ^c		12 DAS		30 DAS		5 DAS		12 DAS		30 DAS	
		S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
		% reduction based on untreated check											
Butachlor	750	90	95	95	93	85	80	98	99	98	98	82	84
	1500	100	99	100	97	93	99	100	100	100	99	100	
Carfentrazone	30	90	88	89	94	74	70	94	96	97	98	86	88
	60	100	96	100	95	80	70	100	99	100	100	100	100
Fentrazamide	300	100	100	100	100	70	75	100	100	100	99	99	
	600	100	100	100	100	90	87	100	100	100	100	100	100
Mefenacet	1050	100	100	100	100	80	79	100	100	100	100	97	97
	2100	100	100	100	100	83	89	100	100	100	100	100	100
Pretilachlor	600	100	100	100	91	89	84	100	100	100	99	92	94
	1200	100	100	95	97	93	89	100	100	97	98	97	97
Pyrazolate	1800	60	53	66	72	45	40	75	74	41	46	31	24
	3600	65	60	80	79	65	60	78	79	86	84	70	69
Simetryne	90	87	92	86	90	38	40	92	93	72	73	54	56
	180	90	88	87	99	50	45	93	94	96	97	88	88
Thiobencarb	1050	85	90	60	53	47	50	94	96	88	91	48	49
	2100	92	95	82	91	75	70	97	98	96	99	76	77

^aNumber of individuals in the untreated control averaged 356 plants per pot (580 cm² surface area)

^bAbove ground biomass in the untreated control averaged 8.1 g per pot (580 cm² surface area)

^cDAS = days after seeding

Table 2. Effects of sulfonylurea herbicide based mixtures on the susceptible (S) and resistant (R) biotypes of *Rotala indica* treated at 12 days after seeding. Parameters were recorded 70 days after treatment.

Herbicide	Rate (g ai ha ⁻¹)	No. of survivor ^a		Above ground biomass ^b	
		S	R	S	R
SU based mixture:		% reduction based on untreated check			
Bensulfuron-methyl + Butachlor	51 + 750	100	89	100	92
Bensulfuron-methyl + Molinate	51 + 1500	100	45	100	40
Cyclosulfamuron + Dithiopyr	60 + 90	100	95	100	97
Cyclosulfamuron + Molinate	60 + 2100	100	39	100	33
Imazosulfuron + Mefenacet	75 + 1050	100	100	100	100
Imazosulfuron + Molinate	75 + 1500	100	20	100	10
Pyrazosulfuron-ethyl + Molinate	21 + 1500	100	55	100	60
Pyrazosulfuron-ethyl + Thiobencarb	21 + 2100	100	70	100	65
Pyrazosulfuron-ethyl + Anilofos + carfentrazone	15 + 450 + 30	100	100	100	100
Non SU based mixture:					
Butachlor + Pyrazolate	1050 + 1800	100	100	100	100
MCPB + Molinate + Simetryne	160 + 1600 + 300	100	100	100	100

^a Number of individuals in the untreated control averaged 364 plants per pot (580 cm² surface area)

^b Above ground biomass of the untreated control averaged 11.1 g per pot (580 cm² surface area)

하지 못하기 때문이다. 작용기작이 다른 제초제 사용이 저항성 마디꽃을 관리하는데 필요하다.

라. 포장에서 SU계 저항성 마디꽃 방제 가능성 제초제 선발
저항성 마디꽃으로 확인된 수도포장을 선정하여 담수직파와 이양재배조건에서 토양
처리제 제초제 처리에 의한 방제효과를 알아보았다(Table 3). 담수직파재배의 경우,
pyrazosulfuron-ethyl + molinate 처리를 제외한 모든 처리에서 저항성 마디꽃이 완전
방제 되었다. 이들 제초제는 초기에는 벼의 약해를 초래하였고, 특히 mefenacet 조합

Table 3. Effects of soil applied herbicides on resistant (R) biotypes of *R. indica* in direct seeded and transplanted rice culture.

Cropping pattern	Herbicide	Formulation	Rate (g ai ha ⁻¹)	Application timing	Herbicidal efficacy			Rice injury		
					10	20	30 DAA	10	20	30 DAA
Wet-seeding	Thiobencarb	7%GR	2,100	5DBS	9	9	9	2	1	0
	Fentrazamide	1.9%SC	95	5DBS	9	9	9	2	1	0
	Oxadiargyl(-)	1.7%SC	68	5DBS	9	9	9	2	1	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+ mefenacet+dymuron	0.07+3.5+1.5GR	21+1,050+450	10DAS	9	9	9	3	2	1
	Bensulfuren-methyl+ thiobencarb	0.17+7%GR	51+2,100	10DAS	9	9	9	2	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+ pyrazolate+simetryn	0.05+3+0.7%GR	15+900+210	15DAS	9	9	9	2	2	1
	Pyrazosulfuron-ethyl+ pyriminobac+ carfentrazon-ethyl	0.07+1+0.25%GR	21+30+75	15DAS	9	9	9	1	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+ molinate	0.07+5%GR	21+1,500	15DAS	7	4	3	1	0	0

Transplanting	Oxadiazon	12%SC	480	2DBS	9	9	9	9	1	0	0
	Benzobicyclon(-)	3.5%SC	140	5DBS	9	9	9	9	0	0	0
	"	"	"	10DBS	9	9	9	9	0	0	0
	"	"	"	15DBS	9	9	9	9	0	0	0
	Pyrazolate+butachlor	6+3.5GR	1,800+1,050	5DAS	9	9	9	8	0	0	0
	Carfentrazone-ethyl+thiobencarb	0.25+7%GR	75+2,100	5DAS	9	9	9	8	1	0	0
	Azimsulfuron+thiobencarb	0.17+7%GR	51+2,100	10DAS	9	9	9	8	0	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+mefenacet	0.07+3.5%GR	21+1,050	10DAS	9	9	9	8	1	0	0
	"	"	"	15DAS	9	9	9	9	0	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+mefenacet	0.17+1+5%GR	21+3000+1,500	10DAS	9	9	9	8	0	0	0
	+thiobencarb										
	Pyrazosulfuron-ethyl+Pyrazolate	0.05+3+0.7%GR	15+900+210	10DAS	9	9	9	9	2	1	0
	+simetrin										
	"	"	"	15DAS	9	9	9	9	1	0	0
	Pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac	0.07+1+0.25%GR	21+30+75	15DAS	9	9	9	8	0	0	0
	+carfentrazone										
	Thiobencarb+simetryn	7+1%GR	2,100+300	15DAS	9	9	9	9	0	0	0

에서 심했다. 그러나 처리 후 30일 경에는 거의 회복되었거나 적었다. 이양제베의 경우, 모든 처리에서 제초제와 처리시기에 관계없이 마디꽃을 효과적으로 방제할 수 있었다. 이들 사용한 제초제에 대한 약해 증상은 거의 볼 수가 없었다. 비록 이들 사용한 모든 제초제가 마디꽃을 효과적으로 방제할 수 있더라도 다년생 잡초도 함께 방제할 수 있는 제초제를 신발해야 할 것이다.

Pyrazosulfuron-ethyl + molinate를 파종 후 10일에 토양처리하고도 마디꽃은 방제되지 않았다. 따라서 생존한 저항성 마디꽃을 방제하기 위하여 경엽처리제를 다시 처리하였다(Table 4).

Table 4. Effects of foliar-application herbicides on the surviving *R. indica* treated at 4-main leaf stage. The survival individuals of *R. indica* were from the paddy fields treated with the mixture of pyrazosulfuron-ethyl plus molinate at 10 days after seeding.

Herbicide	Formulation	Rate (g ai ha ⁻¹)	Herbicidal efficacy			Rice injury		
			10	20	30	10	20	30
			DAA			DAA		
Bentazon	40%SL	1,600	9	9	9	0	0	0
Bentazon+2,4-D	40+40%SL	1,200+140	9	9	9	1	1	1
Bentazon+MCPP-P	25+3.75%SL	1,000+150	9	9	9	2	1	1
Bentazon+MCPA	31+4.6%SL	930+138	9	9	9	2	1	1
Carfentrazon-ethyl+MCPP	40%WP+50%SL	15+150	9	9	9	2	1	0

처리한 모든 경엽처리제는 저항성 마디꽃을 효과적으로 방제할 수 있었다. 비록 bentazon 단제 처리로도 마디꽃을 완전 방제할 수 있었으나, bentazon 약량을 줄이면 서 이행형 제초제인 2,4-D와 MCPA 등의 제초제와 합제로 사용하는 것이 더 효과적이라 할 수 있다. 왜냐하면 bentazon은 접촉형제초제로서 논이 완전히 배수가 되지 않아 식물체가 접촉되지 않으면 후기에 재생의 문제가 있을 수 있다. 따라서 본 연구

에서 최종 선발하여 사용한 토양처리제와 경엽처리제 사용에 의해 저항성 마디꽃을 효과적으로 방제할 수 있었다.

마. ALS 억제

SU계 제초제 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl이 처리된 마디꽃에서 CPCA 처리에 기인한 acetolactate 축적은 감수성 생태형에서 보다 저항성 생태형에서 훨씬 많았다(Figure 2). 각각의 I_{50} 에 의한 R/S율은 bensulfuron-methyl에서 35배, cyclosulfamuron에서 26배, imazosulfuron에서 278배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl 7배이었다. Imazosulfuron 경우, whole plant 분석에서 높은 R/S율($GR_{50} = 233$)과 ALS 분석($I_{50} = 278$)에서 높은 R/S율은 imazosulfuron에 저항성 마디꽃의 기작은 작용점 변형을 의미한다. SU계 저항성 마디꽃은 ALS 저해제 제초제의 저항성이 작용점의 둔감성이란 점에서 SU계 저항성 물달개비, 올챙고랭이, 외풀류 저항성과 유사하다(Shibuya et al. 1999; Uchino et al. 2002). 본 연구에서 얻어진 I_{50} 값은 다른 연구(Brown, 1990)에서 얻어진 I_{50} 값하고는 식물종의 종류, 표현형, 염령, 제초제 등을 포함하는 몇몇 요인 때문에 유의적으로 다를 수 있다. 또한, 만일 특별한 생태형에서 작용점 이외의 다른 저항성 기구가 관련되어 있다면, 유의적인 차이는 다른 지역의 생태형간 I_{50} 에서 관찰할 수 있다(Saari et al. 1994; Thill et al. 1991; Schmitzer et al. 1993).

결론적으로, 전남지방에서 수집한 마디꽃 수집종은 imazosulfuron에 저항성이라고 할 수 있다. 저항성 생태형은 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron 및 pyrazosulfuron-ethyl과 같은 다른 SU계에 교차저항성을 보였으나 imidazolinone 제초제인 imazapyr과 imazaquin에는 교차저항성이 없었다. 비 SU계 제초제 fentrazamide와 mefenacet 그리고 비 SU계 혼합제 butachlor + pyrazolate와 MCPB + molinate + simetryn는 저항성 및 감수성 두 생태형을 방제하는데 사용할 수 있다. 비록 일부 SU계 제초제 혼합제가 두 생태형 모두 방제하는데 사용할 수 있더라도 이들 혼합제 사용은 특별하게 필요한 경우에만 사용해야 한다. 저항성 기구가 주로 작용점 변형에 기인되기 때문에 이러한 경우에는 다른 작용기작을 가진 제초제를 사용하는 것이 좋다.

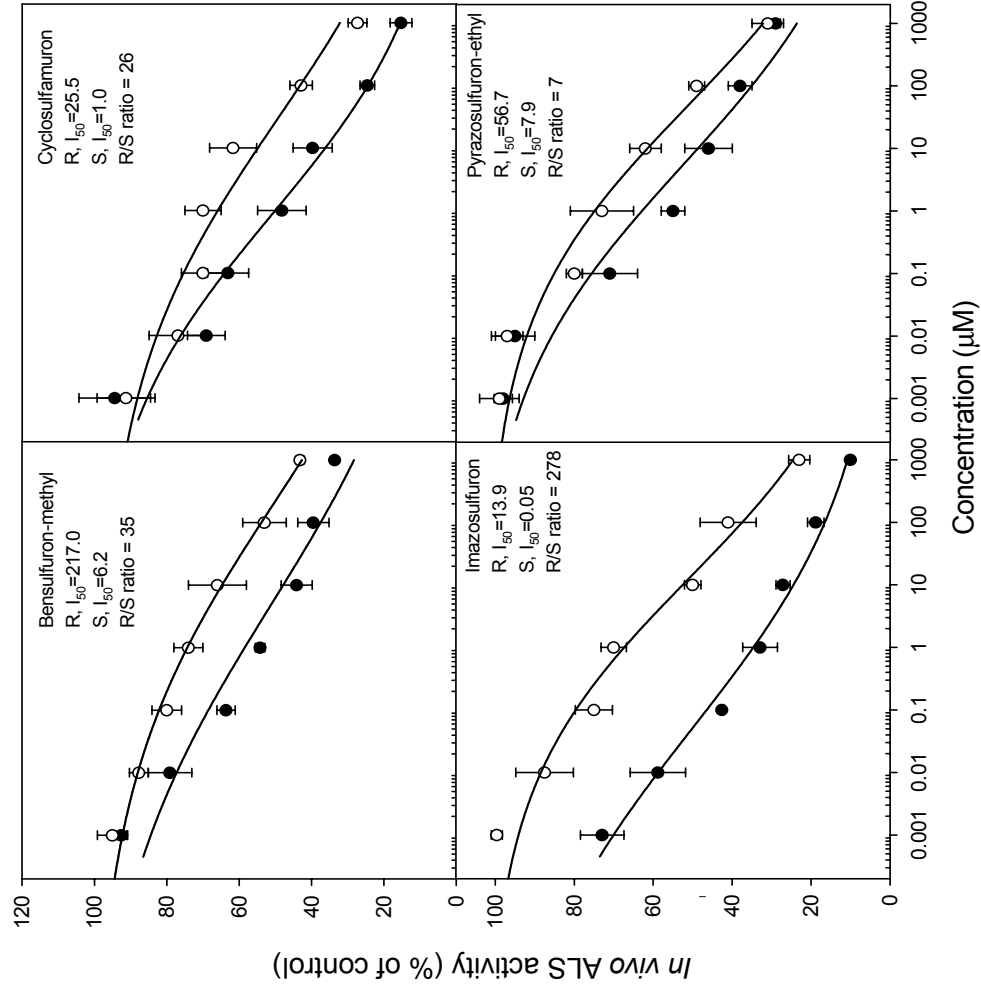


Figure 2. Effects of bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron, and pyrazosulfuron-ethyl on *in vivo* ALS activity of the susceptible (○) and resistant (●) biotypes of *Rotala indica*. Each data point is the mean \pm S.E. of three replications.

다른 저항성 잡초종과 마찬가지로 SU계 저항성 마디꽃도 기계적, 재배적, 생물학적 잡초방제뿐만 아니라 다른 제초제 사용 등 종합적인 체계를 사용하여 관리되어야 한다. 그리고 저항성 관리를 위해 SU계 저항성 마디꽃의 분포 및 전파 등의 계속적인 조사가 절대적으로 필요하다.

4. 결 과 요 약

본 연구는 전남지방에서 수집한 마디꽃 수집종을 SU계 저항성을 알아보기 위하여 수행되었다. 수집종은 저항성으로 확인되었고, 다른 SU계 제초제인 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron 및 pyrazosulfuron-ethyl에 교차저항성이었으나 imidazolinone계 제초제인 imazapyr와 imazaquin에는 교차저항성이 없었다. ALS 저해제와 작용기작이 다른 8가지 제초제를 사용하여 다중저항성을 조사하였다. 저항성 생태형은 SU계와 작용기작이 다른 제초제인 fentrazamide와 mefenacet에 의해 방제되었다. 또한 제초제 혼합제, butachlor + pyrazolate 그리고 MCPB + molinate + simetryn는 저항성 및 감수성 마디꽃 생태형을 방제할 수 있었다. 비록 다른 작용기작을 가진 제초제와 SU계 제초제와의 혼합제가 저항성 생태형을 방제할 수 있더라도, 이들 혼합제 사용은 피해야 한다. 저항성 생태형의 *in vivo* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron 및 pyrazosulfuron-ethyl에 대해 각각 35, 26, 278 및 7배 더 저항성이었다. Imazosulfuron에 마디꽃의 저항성 기구는 주로 작용점 효소 ALS의 변형에 기인되었다. 효소분석에서 SU계 제초제에 저항성 수준이 whole-plant 분석에서 보다 훨씬 적었기 때문에 제초제 대사는 감소된 흡수 및 이행과 같은 제초제 저항성 기구도 관련될 수도 있다.

제8절 SU계 제초제 저항성 알방동사니에 대한 교차저항성과 망제 가능 제초제 선발

1. 서언

비록 SU계 제초제 저항성 알방동사니가 이미 미국에서 보고되었으나(Pappas-Fader et al. 1993; Osuna et al. 2002), 작용기작이 다른 제초제에 대한 다중저항성에 대해서는 연구되지 않았다. 그러므로 저항성 생태형을 방제하는데 효과적인 제초제 선택에 관한 정보를 얻을 수 없다. 또한 미국에서 출현한 알방동사니와 한국에서 출현한 알방동사니간에 교차저항성이 동일할 것인지도 알 수가 없었다. 그래서 본 연구의 목적은 한국에서 출현한 알방동사니에 대한 ALS 저해제 제초제에 저항성 수준을 알아보고, 저항성 알방동사니를 방제하는데 효과적인 제초제를 선발하고, ALS 효소 둔감성이 저항성 기작인지를 알아보기 위하여 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 식물재료

SU계 저항성 알방동사니 종자는 2001년 전남 장흥의 논포장에서 수집하였다. 이들은 주로 SU계 혼합제인 imazosulfuron(0.25%) + molinate(5%) 또는 pyrazosulfuron-ethyl (0.07%) + molinate(5%)를 8년 연속하여 사용하였다. 또한 알방동사니 종자는 제초제를 전혀 처리하지 않은 전남 나주 휴경지에서 수집하여 이것을 감수성으로 하였다. 휴면타파를 위해 종자는 4℃ 냉장고에 1개월 보관하였다.

나. ALS 저해제 제초제에 대한 반응

종자는 본토양(식양토)으로 충진된 plastic pot(280cm² 표면면적)에 파종하고 은실(주/아: 30/25℃, 광주기:14/10 시간)에 두었다. 2엽기 때, pot의 물의 깊이를 3cm로 조절한 후 ALS 저해제 제초제인 bensulfuron-methyl(0.4, 0.8, 1.6, 12.8, 25.5, 51, 102, 204, 408 및 816 g ai ha⁻¹), bispyribac sodium(3.1, 6.2, 12.4, 25, 50 및 100 g ai ha⁻¹), cyclosulfamuron(0.5, 0.9, 1.9, 3.8, 7.5, 15, 30, 60, 120, 240, 480 및 960 g ai

ha⁻¹), imazosulfuron(0.15, 0.3, 0.6, 1.2, 2.3, 4.7, 9.4, 18.8, 37.5, 75, 150, 300, 600, 1,200 및 4,800 g ai ha⁻¹), pyrazosulfuron-ethyl(0.15, 0.3, 0.7, 1.3, 2.6, 5.3, 10.5, 21, 42, 84, 168 및 336 g ai ha⁻¹), imazapyr(0.98, 1.95, 3.9, 7.81, 15.63, 31.25, 62.5 및 125 g AI ha⁻¹) 및 imazaquin(0.625, 1.25, 2.5, 5, 10, 20, 40 및 80 g ai ha⁻¹)을 처리하였다. Bensulfuron-methyl, bispyribac sodium, cyclosulfamuron, imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl, imazapyr 및 imazaquin의 추천량은 각각 51, 25, 60, 75, 21, 125 및 80 g ai ha⁻¹이다. 처리 후 30일에 지상부 건물중을 조사하였다. 그 밖의 data 정리, 회귀식 및 GR₅₀ 계산 등은 앞의 제7절 ALS 저해제에 대한 반응 실험과 동일하게 하였다.

다. 비 ALS 저해제 제초제에 대한 반응

SU계에 저항성 알방동사나니 방제 여부를 알아보기 위하여 작용기작이 다른 12가지 제초제를 사용하였다(Table 1). Oxadiazon을 제외한 모든 제초제는 알방동사나의 2엽기 때인 파종 후 20일에 처리하였다. Oxadiazon은 파종 직전에 토양처리 하였다. 이 들 제초제중에 clomeprop(액상수화제)와 oxadiazon(유제)을 제외한 다른 제초제는 입제 형태로 담수된 콧트에 처리하였다. 생존 개체수, 달관 잠초방제 및 지상부 건물중은 처리 후 30일에 조사하였다. 그 밖의 과정은 앞의 제7절 ALS 저해제에 대한 반응 실험과 동일하게 하였다.

라. SU계 혼합제에 대한 반응

SU계 저항성 알방동사나니 방제 효과를 알아보기 위하여 16가지 SU계 혼합제와 1가지 비 SU계 혼합제를 사용하였다(Table 2). 그 밖의 과정은 앞의 제7절 ALS 저해제에 대한 반응 실험과 동일하게 하였다.

마. *In vitro* ALS 분석

효소 추출과 분석은 Osuna 등(2002) 방법을 다소 변형하여 사용하였다.

바. *In vivo* ALS 분석

In vivo acetolactate 축적은 Gerwick et al. (1993)의 방법을 약간 변형하여 사용하였다. Simpson et al. (1995)는 *in vivo* ALS 분석하는데 Gerwick et al. (1993) 방법을 사용하였다. 그 밖의 구체적인 방법은 제 2절 실험 간이진단법과 동일하게 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. ALS 저해제 제조제에 대한 저항성

알방동사니에 대한 SU계 제조제에 대한 효과는 2000년 이후로 크게 감소하여 일부 논에서 우점잡초가 되고 있다. 이들 알방동사니 개체는 SU계 제조제에 저항성으로 의심되었다. 저항성으로 의심된 알방동사니 sample의 제조제 반응곡선은 Figures 1과 2에 제시하였다. 반응곡선으로 계산한 GR₅₀ 값에 의하면 저항성으로 의심된 알방동사니는 ALS 저해제 제조제에 저항성으로 확인되었다. 저항성 생태형은 감수성 생태형에 비해 bensulfuron-methyl과 bispyribac sodium에 각각 1073배와 2.3배 더 저항성이었다. 미국에서는 지상부 생체중에 기초하면 저항성 생태형이 감수성 생태형에 비해 bensulfuron-methyl과 bispyribac sodium에 각각 26배와 10배 더 저항성이었다 (Osuna et al. 2002). 이들 두 생태형간에 직접적인 비교는 환경조건, 실험조건, 식물체 크기 등 저항성 차이에 기여할 수 있는 요인들이 다르기 때문에 할 수 없다. 가장 중요한 점은 저항성 개체를 선발하는데 사용한 제조제가 다르다는 점이다. 즉 미국에서는 bensulfuron-methyl 과 bispyribac sodium을 사용했고, 한국에서는 이들 제조제 뿐만 아니라 cyclosulfamuron, imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl, imazapyr 및 imazaquin을 사용했다. 알방동사니 감수성 생태형은 imazosulfuron 추천량의 1/16 사용량에 의해 완전히 방제되었다. 그러나 저항성 알방동사니 생태형은 imazosulfuron 추천량의 8배를 처리해도 단지 33% 방제되었다. 본 연구결과는 전에 SU계 혼합제에 노출했던 수집종은 imazosulfuron에 저항성임을 의미한다. 다른 연구에서도 ALS 저항성은 ALS 저해제를 4-7년 연속하여 사용한 경우 발생한다고 보고 하였다(Kuk et al. 2002; Kuk et al. 2003; Sprague et al. 1997).

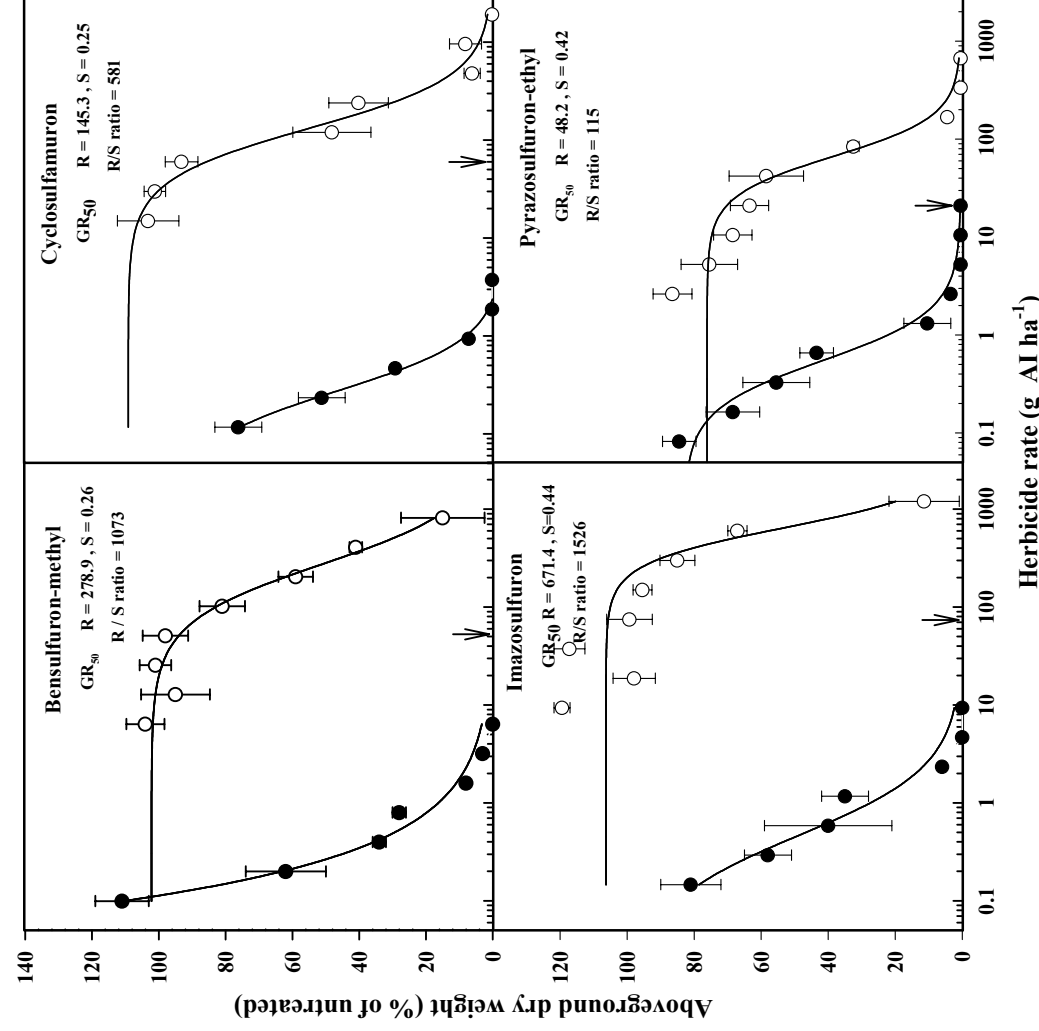


Figure 1. Aboveground dry weight of susceptible (●) and resistant (○) biotypes of *C. difformis* as affected by sulfonylurea herbicides in whole plant response assay. The herbicides were applied to 2 leaf *C. difformis* and shoot dry weight was determined 30 days after treatment. Vertical bars represent standard errors of the mean. Arrow (↓) indicates the recommended rate of bensulfuron-methyl (51g AI ha⁻¹), cyclosulfamuron (60g AI ha⁻¹), imazosulfuron (75g AI ha⁻¹), and pyrazosulfuron-ethyl (21g AI ha⁻¹), for rice paddy fields. GR₅₀ values were the SU herbicide concentrations that reduced aboveground dry weight by 50%. R/S ratios were calculated relative to the GR₅₀ value of the S biotype. Regression equations for aboveground dry weight as affected by various herbicides were: bensulfuron-methyl $Y=102.2/[1+(X/274.2)^{1.46}]$, $R^2=0.98$ for R, and $Y=1170.4/[1+(X/0.0073)^{0.87}]$, $R^2=0.98$ for S biotype; cyclosulfamuron $Y=109/[1+(X/133.1)^{1.68}]$, $R^2=0.99$ for R and $Y=3.09+[98.2/[1+(X/0.28)^{1.61}]$, $R^2=0.98$ for S biotype; imazosulfuron $Y=106.3/[1+(X/645.6)^{2.37}]$, $R^2=0.92$ for R and $Y=97.3/[1+(X/0.47)^{1.23}]$, $R^2=0.96$ for S biotype; and pyrazosulfuron-ethyl $Y=75.7/[1+(X/67.1)^{2.13}]$, $R^2=0.97$ for R and $Y=82.4/[1+(X/0.55)^{1.71}]$, $R^2=0.98$ for S biotype.

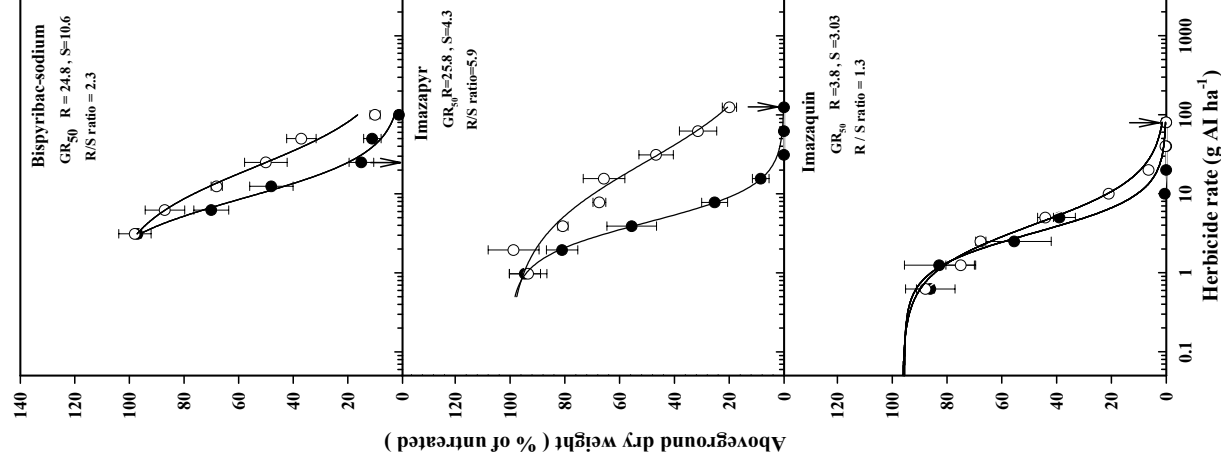


Figure 2. Aboveground dry weight of susceptible (●) and resistant (○) *C. difformis* as affected by ALS-inhibiting herbicides in whole plant response assay. The herbicides were applied to 2 leaf *C. difformis* and aboveground dry weight was determined 30 days after treatment. Recommended rates were bispyribac sodium, 25 g AI ha⁻¹; imazapyr, 125 g AI ha⁻¹; and imazaquin, 80g AI ha⁻¹ (for non crop lands) in Korea. R/S ratios were calculated relative to the GR₅₀ value of the S biotype. Regression equations for aboveground dry weight as affected by herbicides were: bispyribac sodium $Y=107.8/[1+(X/21.98)^{1.13}]$, R²=0.97 for R and $Y=115.5/[1+(X/8.92)^{1.52}]$, R²=0.99 for S biotype; imazapyr $Y=101/[1+(X/25.4)^{0.82}]$, R²=0.98 for R and $Y=99.8/[1+(X/4.37)^{0.83}]$, R²=0.99 for S biotype; imazaquin $Y=96.2/[1+(X/4.09)^{1.47}]$, R²=0.98 for R and $Y=95.6/[1+(X/3.24)^{1.85}]$, R²=0.98 for S biotype.

Imazosulfuron에 저항성 알방동사니는 다른 SU계 제초제 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron 및 pyrazosulfuron-ethyl; pyrimidinyI thiobenzoate계 제초제, bispyribac sodium과 imidazolinone계 제초제 imazapyr에는 교차저항성을 보였고, imidazolinone계 제초제인 imazaquin에는 교차저항성을 보이지 않았다. 알방동사니 감수성 생태형은 앞서 언급한 SU계 제초제 추천량의 1/8 처리에서는 완전 방제되었다. 그러나 저항성 생태형은 이들 제초제 추천량의 2배 처리에서도 단지 5 - 52% 방제되었다. GR₅₀ 값에 기초하여ALS 저해제 제초제에 대한 알방동사니 저항성 정도는 imazosulfuron > bensulfuron-methyl > cyclosulfamuron > pyrazosulfuron-ethyl > imazapyr > bispyribac sodium 순이었다. 유사한 연구에서도 ALS 저해제 제초제인 bispyribac sodium와 bensulfuron-methyl에 저항성 *Echinochloa phyllopogon*과 알방동사니에 교차저항성이 있음을 보고하였다(Osuna et al. 2002). 한편, imazosulfuron에 저항성 물달개비와 마디꽃 생태형도 다른 SU계 제초제에 교차저항성이 있다고 하였으나, imidazolinone계 제초제인 imazaquin과 imazapyr에는 교차저항성이 없다고 하였다(Kuk et al. 2002; Kuk et al. 2003). 다른 ALS 저항성 잡초종도 다른 교차저항성을 보였다. 예를 들면, chlorsulfuron에 저항성 *L. serriola*은 8가지 SU계 제초제뿐만 아니라 imidazolinone계 제초제인 imazethapyr와 imazapyr에 교차저항성을 보였으나 imidazolinone계 제초제인 imazaquin에는 교차저항성을 보이지 않았다(Mallory-Smith et al. 1990). 추가적으로 imazosulfuron에 저항성 을쟁고랭이는 3가지 SU계 제초제 뿐만 아니라 imidazolinone계 제초제 imazapyr에 교차저항성을 보였으나, imidazolinone계 제초제인 imazaquin에는 교차저항성이 없었다(Kuk et al. 2002).

나. 작용기작이 다른 제초제에 대한 반응

저항성 알방동사니 생태형은 다른 작용기작을 가진 제초제에 다중저항성을 보이지 않았다(Table 1). 저항성과 감수성 생태형은 butachlor, carfentrazone-ethyl, clomeprop, dithiopyr, esprocarb, mefenacet, oxadiazon, pretilachlor, pyrazolate 및 thiobencarb 추천량 사용에 의해 완전 방제되었다. 그러나 molinate는 저항성과 감수성 생태형을 거의 방제하지 못했다. 한편, 두 생태형은 dimepiperate의 추천량 처리에 의해서 전혀 방제되지 않았다. 또한, SU계 저항성 물달개비, 미국외풀, 마디꽃 및 울

청고랭이도 다른 작용기작을 가진 제초제에 다중저항성을 보이지 않는 다는 유사한 보고도 있다(Park et al. 2000; Kuk et al. 2002; Kuk et al. 2003). 이들 결과는 SU계 저항성 알방동사니 방제는 작용기작이 다른 제초제와 번갈아 사용한 경우에 가능함을 의미한다. 저항성 알방동사니 방제를 위한 효과적인 제초제 추천은 방제효과에 기초하여야 한다. 왜냐하면 dimepiperate와 molinate는 어떤 처리시기에는 저항성과 감수성 생태형을 방제하지 못하기 때문이다.

다. SU계 제초제 혼합제에 대한 반응

비록 butachlor, carfentrazone-ethyl, clomeprop, dithiopyr, esprocarb, mefenacet, oxadiazon, pretilachlor, pyrazolate 및 thiobencarb 제초제가 SU계 저항성 알방동사니를 방제할 수 있더라도 이들 제초제는 다년생 잡초를 방제하지 못한다. 또한, 저항성 알방동사니가 감염된 논 포장은 다른 다년생 잡초도 발생할 수 있다. 논에서 다년생 잡초를 방제하기 위하여 위의 제초제들은 주로 SU계 제초제와 합제로 사용된다. 그래서 다양한 SU계 혼합제가 저항성 알방동사니를 방제할 수 있는지 알아보기 위하여 사용되었다(Table 2).

대부분 SU계 혼합제는 추천량 사용했을 때 저항성 생태형을 방제할 수 있다. 그러나 SU계 혼합제 azimsulfuron, bensulfuron-methyl, cyclosulfuron, imazosulfuron 및 pyrazosulfuron-ethyl를 dimepiperate, molinate 또는 pyrifthalid와 혼합제로 사용한 경우 저항성 생태형의 방제효과(8-78%)는 아주 낮았다. 이것은 dimepiperate, molinate 또는 pyrifthalid가 알방동사니 및 다른 광엽잡초 종에 방제효과가 낮기 때문이다. SU계 혼합제중에 bensulfuron-methyl + dimepiperate 및 imazosulfuron + dimepiperate는 저항성 생태형을 단지 0-8% 방제할 수 있었다. 그러나 다른 작용기작을 가진 제초제 pyrazolate + butachlor는 저항성 생태형을 100% 방제하였다. 그러므로 pyrazolate와 butachlor와 같은 작용기작이 다른 제초제 사용이 SU계 저항성 알방동사니를 관리하는데 필요하다.

Table 1. Effects of herbicides with other modes of action on the susceptible (S) and resistant (R) biotypes of *C. difformis* treated at 2 leaf stage. Variables were recorded 30 days after treatment.

^aA rating of 0 represents no weed control and 9 indicates complete control.

^bNumber of individuals in the untreated control averaged 30 plants per pot (280 cm² surface area).

Table 2. Effects of sulfonylurea herbicide based mixtures on the susceptible (S) and resistant (R) biotypes of *C. difformis* treated at 2 leaf stage. Variables were recorded 30 days after treatment.

Herbicide mixture	Rate g AI ha ⁻¹	Herbicide efficacy		No. of individuals ^b		Aboveground dry weight	
		S	R	S	R	S	R
		Visual rate ^a		% reduction based on untreated check			
Azimsulfuron / Molinate	15 / 2100	9.0	6.0	100	65	100	60
	30 / 4200	9.0	7.5	100	70	100	63
/ Thiobencarb	15 / 2100	9.0	9.0	100	100	100	100
	30 / 4200	9.0	9.0	100	100	100	100
Bensulfuron-methyl / Butachlor	51 / 750	9.0	9.0	100	100	100	100
	102 / 1500	9.0	9.0	100	100	100	100
/ Dimepiperate	39 / 2100	9.0	1.0	100	10	100	8
	51 / 1500	9.0	4.0	100	30	100	32
Cyclosulfamuron / Mefenacet	60 / 1050	9.0	9.0	100	100	100	100
	120 / 2100	9.0	9.0	100	100	100	100
/ Molinate	60 / 2100	9.0	5.0	100	70	100	44
	54 / 30	9.0	6.0	100	69	100	81
Halosulfuron-methyl / Pyriminobac-methyl	108 / 60	9.0	7.3	100	77	100	85

To be continued

Imazosulfuron	/ Anilofos	75 / 450	9.0	9.0	100	100	100	100
		150 / 900	9.0	9.0	100	100	100	100
	/ Dimepiperate	75 / 2100	9.0	0.5	100	0	100	0
	/ Molinate	75 / 1500	9.0	3.0	100	29	100	27
	/ Pyrifthalid	75 / 180	9.0	3.0	100	21	100	15
		150 / 360	9.0	5.0	100	55	100	69
Pyrazosulfuron-ethyl	/ Fentrazamide	21 / 210	9.0	9.0	100	100	100	100
		42 / 420	9.0	9.0	100	100	100	100
	/ Molinate	21 / 1500	9.0	5.0	100	50	100	78
		42 / 3000	9.0	6.7	100	63	100	76
	/Pretilachlor/Pyriminobac methyl	21 / 300 / 30	9.0	9.0	100	100	100	100
		42 / 600 / 60	9.0	9.0	100	100	100	100
	/Carfentrazone ethyl /Anilofos	15 / 30 / 450	9.0	9.0	100	100	100	100
		30 / 60 / 900	9.0	9.0	100	100	100	100
Pyrazolate	/ Butachlor	1800 / 1050	9.0	9.0	100	100	100	100
		3600 / 2100	9.0	9.0	100	100	100	100

^aA rating of 0 represents no weed control and 9 indicates complete control.

^bNumber of individuals in the untreated control averaged 30 plants per pot (280 cm² surface area).

라. ALS 억제

저항성과 감수성 알방동사니의 지상부 조직으로부터 추출한 *in vitro* ALS의 특이 활성은 각각 134 ± 3.8 과 62 ± 1.3 acetoin량($\text{nmol h}^{-1} \text{mg}^{-1}$ protein)로서 다르다. 즉, 저항성 생태형이 오히려 ALS 활성이 낮기 때문에 저항성은 작용점의 과다발현에 의해 기인되지 않음을 의미한다. 저항성 생태형의 *In vitro* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 bensulfuron-methyl에 1,139배, cyclosulfamuron에 3,583배, imazosulfuron에 1,482배, pyrazosulfuron-ethyl에 416배, bispyribac sodium에 5배 그리고 imazapyr에 9배 더 저항성 이었다(Figure 3).

또한 SU계 제초제 bensulfuron-methyl과 imazosulfuron을 처리한 알방동사니에 CPCA 처리에 기인한 acetolactate 축적은 감수성 생태형에 비해 저항성 생태형에서 훨씬 많았다(Figure 4). Bensulfuron-methyl에 대한 R/S I_{50} 은 928배이고 imazosulfuron에 1,351배이었다. Bensulfuron-methyl과 imazosulfuron에 저항성은 *in vivo* ALS 분석보다 *in vitro* ALS 분석에서 높았다. 이들 연구 결과는 SU계 저항성 알방동사니의 저항성 기구는 작용점 변형임을 의미한다. SU계 저항성 알방동사니의 저항성 기구가 작용점 효소의 둔감성이라는 점에서 저항성 물탈개비, 마디꽃, 올챙고랭이 및 외플류의 저항성 기구와 유사하였다(Park et al. 2000; Kuk et al. 2002; Kuk et al. 2003; Shibuya et al. 1999; Uchino et al. 2002). 일반적으로 ALS 저해제 저항성은 작용점의 유전적 돌연변이에 의해 기인된다.

본 연구를 요약해 보면, 전남 장흥지방에서 수집한 알방동사니 수집종은 imazosulfuron에 저항성이었다. 이 저항성 생태형은 다른 SU계 제초제인 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron 및 pyrazosulfuron-ethyl과 pyrimidiny thiobenzoate계 제초제인 bispyribac sodium 그리고 imidazolinone계 제초제인 imzapyr에 교차저항성을 보였으나, imidazolinone계 제초제인 imazaquin에는 교차저항성이 없었다. 저항성 알방동사니 생태형은 다중저항성을 보이지 않았다. 비 SU계 제초제 butachlor, carfentrazone-ethyl, clomeprop, dithiopyr, esprocarb, mefenacet, oxadiazon, pretilachlor, pyrazolate 및 thiobencarb와 몇몇 SU계 혼합제 그리고 비 SU계 혼합제 pyrazolate + butachlor는 저항성 및 감수성 알방동사니 생태형을 방제하는데 사용할 수 있다. 비록 일부 SU계 혼합제가 두 생태형을 방제하는데 사용할 수 있다라도 이들

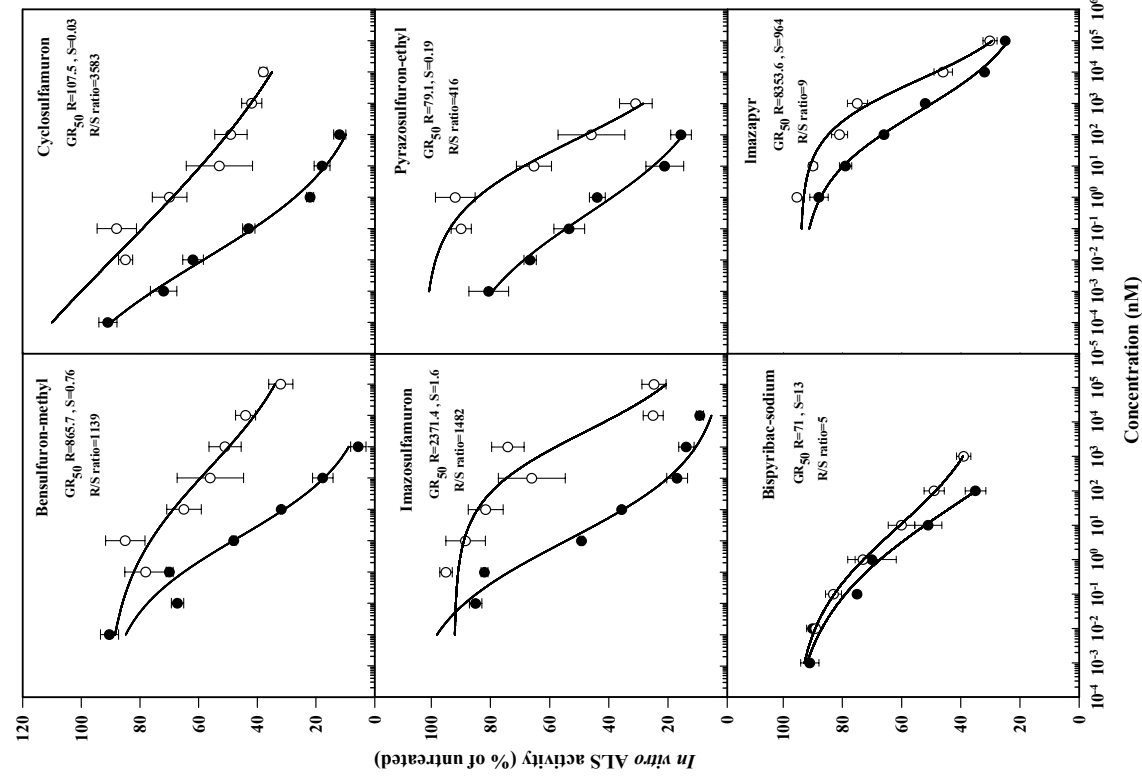


Figure 3. Effects of ALS inhibiting herbicides on *in vitro* ALS activity of partially purified enzyme from susceptible (●) and resistant (○) biotypes of *C. difformis*. Each data point is the mean ± S.E of three replications. I_{50} values were the herbicide concentrations that reduced ALS activity by 50%. Regression equations for *in vitro* ALS activity as affected by herbicides were: bensulfuron-methyl $Y=20.5+[71.8/(1+(X/205.1)^{0.24})]$, $R^2=0.94$ for R and $Y=92.3/[1+(X/1.3)^{0.37}]$, $R^2=0.97$ for S biotype; cyclosulfamuron $Y=175.3/[1+(X/0.0115)^{0.1}]$, $R^2=0.94$ for R and $Y=118.1/[1+(X/0.009)^{0.26}]$, $R^2=0.96$ for S biotype; imazosulfamuron $Y=2.96+[89.3/[1+(X/3178.8)^{0.4}]]$, $R^2=0.89$ for R and $Y=108.5/[1+(X/1.02)^{0.32}]$, $R^2=0.98$ for S biotype; pyrazosulfuron-ethyl $Y=102.6/[1+(X/71.1)^{0.36}]$, $R^2=0.97$ for R and $Y=95.3/[1+(X/0.28)^{0.26}]$, $R^2=0.98$ for S biotype; bispyribac sodium $Y=26.7+[69.9/[1+(X/8.2)^{0.3}]]$, $R^2=0.99$ for R and $Y=20.3+[119.4/[1+(X/54.8)^{0.25}]]$, $R^2=0.98$ for S biotype; and imazapyr $Y=13.9+[80.3/[1+(X/5761)^{0.5}]]$, $R^2=0.99$ for R and $Y=14.1+[80.1/[1+(X/554.4)^{0.38}]]$, $R^2=0.99$ for S biotype.

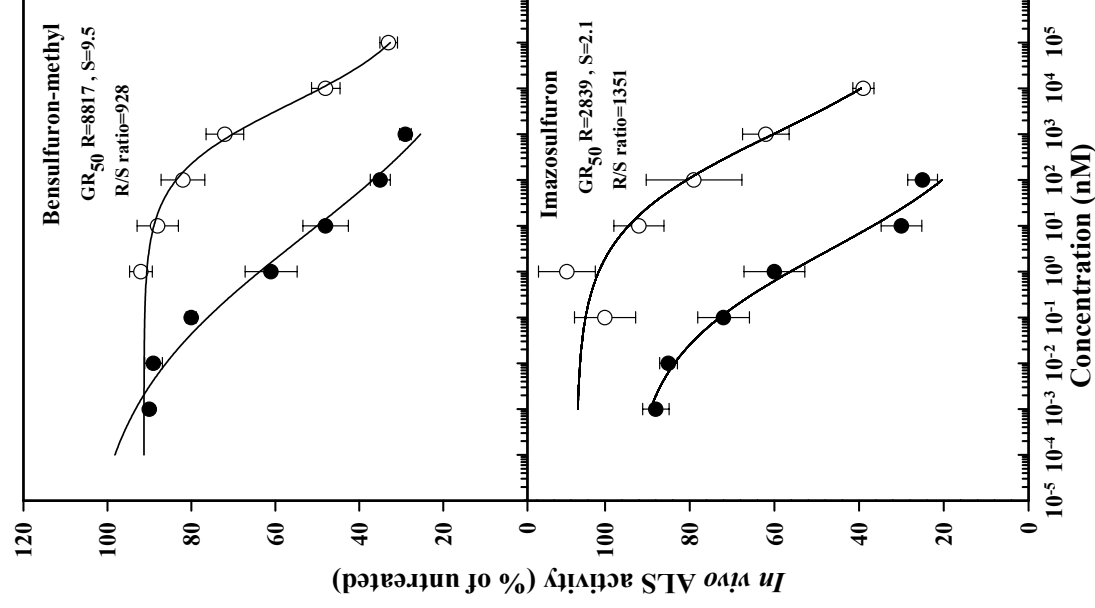


Figure 4. Effects of bensulfuron-methyl and imazosulfuron on *in vivo* ALS activity of susceptible (●) and resistant (○) biotypes of *C. diffiformis*. Each data point is the mean ± S.E of three replications. Regression equations for *in vivo* ALS activity as affected by bensulfuron-methyl were $Y=21.8+[69.5/[1+(X/4539.1)^{0.57}]]$, $R^2=0.99$ for R and $Y=106.4/[1+(X/5.877)^{0.23}]$, $R^2=0.98$ for S. Regression equations for *in vivo* ALS activity as affected by imazosulfuron were $Y=11.9+[94.9/[1+(X/1109.7)^{0.4}]]$, $R^2=0.97$ for R and $Y=94.1/[1+(X/2.95)^{0.36}]$, $R^2=0.97$ for S biotype.

혼합제의 사용은 특별하게 필요하는 경우에만 사용해야 할 것이다. 저항성 기구가 주로 작용점의 둔감성에 기인되기 때문에 SU계와 작용기작이 다른 제초제를 사용하는 것이 좋을 것이다. 다른 저항성 잡초종과 마찬가지로 SU계 저항성 알방동사니도 기계적, 제배적, 생물학적 잡초방제뿐만 아니라 다른 제초제 사용 등 종합적인 체계를 사용하여 관리되어야 한다. 그리고 저항성 관리를 위해 SU계 저항성 알방동사니의 분포 및 전파 등의 계속적인 조사가 절대적으로 필요하다.

4. 결과 요약

전남지방에서 수집한 알방동사니를 SU계 제초제인 imazosulfuron에 저항성을 유무를 알아보고자 하였다. 수집종은 저항성으로 확인되었고, 다른 SU계 제초제인 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron 및 pyrazosulfuron-ethyl, pyrimidinyl thiobenzoate계 제초제인 bispyribac-sodium 그리고 imidazolinone계 제초제인 imazapyr에 교차저항성을 보였으나, imidazolinone계 제초제인 imazaquin에는 교차저항성을 보이지 않았다. 다중저항성을 알아보기 위하여 ALS와 작용점이 다른 12가지 제초제를 사용하였다. 저항성 생태형은 butachlor, carfentrazone-ethyl, clomeprop, dithiopyr, esprocarb, mefenacet, oxadiazon, pretilachlor, pyrazolate 및 thiobencarb와 같은 다른 작용기작을 갖은 제초제를 추천함으로써 토양에 처리했을 때 방제되었다. SU + dimepiperate, molinate 또는 pyrifthalid 제외한 몇몇 SU계 혼합제와 pyrazolate + butachlor는 저항성 및 감수성 생태형을 방제할 수 있다. 비록 SU계 혼합제가 더 효과적이더라도 그들 사용을 피해야하고 단지 특별한 경우에만 사용되어야 한다. 저항성 생태형의 *in vitro* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 bensulfuron-methyl, cyclosulfamuron, imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl, bispyribac-sodium 및 imazapyr에 의해 각각 1,139, 3,583, 1,482, 416, 5 및 9배 더 저항성이었다. 또한 저항성 생태형의 *in vivo* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 SU계 제초제인 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 덜 영향을 받았다. *In vitro*와 *in vivo* ALS 분석 결과는 ALS 저해제 제초제에 알방동사니의 저항성 기구는 주로 작용점 ALS 변형에 기인되었다.

제 9절 SU계 저항성 올챙고랭이 방제법 및 저항성 기구

1. 서언

2000년에 본 연구진은 SU계 제초제를 처리하고도 생존한 올챙고랭이를 전남농업기술원, 전남 장흥과 전북 김제에서 관찰되었다. 그래서 본 연구의 목적은 이들 수집종의 올챙고랭이가 ALS 저해제 제초제에 대한 저항성 정도를 알아보고, 저항성 올챙고랭이 방제하는데 적합한 제초제를 선별하고, ALS 효소의 둔감성이 저항성 기구인지를 알아보고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 식물재료

SU계 저항성으로 의심된 올챙고랭이 종자를 전남농업기술원, 전남 나주, 전남 장흥 및 전북 김제에서 2001년에 수집하였다. 이들 포장은 여러 해 동안 SU계 혼합제인 imazosulfuron + molinate와 pyrazosulfuron-ethyl + molinate를 처리하였다. 또한 올챙고랭이 종자는 전혀 제초제를 처리하지 않은 전남 나주에 위치한 휴경지에서 수집하여 이것을 감수성 종자로 사용하였다. 휴면타파를 위해 수집한 올챙고랭이 종자를 물속에 침지하여 4°C의 냉장고 1개월간 보관 후에 사용하였다.

나. ALS 저해제 제초제에 대한 반응

종자는 논토양(식양토)으로 충진된 plastic pot(280cm² 표면면적)에 파종하고 은실(주/야: 30/25°C, 광주기:14/10 시간)에 두었다. 파종 후 12일(2엽기)에 pot의 물의 깊이를 3cm로 조절한 후 ALS 저해제 제초제인 0.03% azimsulfuron(0.95, 1.9, 3.8, 7.5, 15, 30, 60, 120, 240 및 480 g ai ha⁻¹), 0.1% bensulfuron-methyl(0.4, 0.8, 1.6, 12.8, 25.5, 51, 102, 204, 408 및 816 g ai ha⁻¹), 0.25% imazosulfuron(0.15, 0.3, 0.6, 1.2, 2.3, 4.7, 9.4, 18.8, 37.5, 75, 150, 300, 600, 1,200 및 4,800 g ai ha⁻¹), 0.07% pyrazosulfuron-ethyl(0.15, 0.3, 0.7, 1.3, 2.6, 5.3, 10.5, 21, 42, 84, 168 및 336 g ai ha⁻¹), 2.5% imazapyr(0.98, 1.95, 3.9, 7.81, 15.63, 31.25, 62.5 및 125 g ai ha⁻¹) 그리고 20% imazaquin(0.625, 1.25, 2.5, 5, 10, 20, 40 및 80 g ai ha⁻¹). Imazaquin(액제)을 제

위한 모든 제초제는 입제를 사용하였고, 담수된 콧트에 처리하였다. Azimsulfuron, bensulfuron-methyl, imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl, imazapyr 및 imazaquin의 추천량은 각각 15, 51, 75, 21, 125 및 80 g ai ha⁻¹이다. 처리 후 20일에 지상부 건물 중을 조사하였고, 그 밖의 자료 정리, 회귀 방정식 및 GR₅₀ 등은 앞의 제7절 ALS 저해제에 대한 반응 실험과 동일하게 하였다.

다. 비 ALS 저해제 제초제 및 SU계 혼합제에 대한 반응

SU계 저항성 을쟁고랭이 방제 효과를 알아보기 위하여 비 ALS 저해제중 3가지 단위와 2가지 2원 합제 및 6가지 SU계 혼합제를 사용되었다. 사용된 제초제는 Table 3에 제시하였고, 이들 제초제는 파종 후 10일(2엽기)에 사용하였다. 제초제는 입제 형태로 담수된 콧트에 처리하였다. 생존 개체수와 지상부 건물중은 처리 후 20일에 조사하였다. 다른 과정은 앞의 ALS 저해제 제초제에 대한 반응 실험과 동일하게 하였다.

라. *In vitro* ALS 분석

효소 추출과 분석은 Ray(1984) 방법을 약간 변형하여 사용하였다. 구체적인 방법은 제 2절 실험 간이진단법과 동일하게 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 저항성 확인

SU계 저항성으로 의심된 4지역의 을쟁고랭이 수집종 중 전북 김제 수집종만 whole plant 반응 실험에서 pyrazosulfuron-ethyl에 저항성으로 확인되었다(Table 1). 저항성 수집종은 pyrazosulfuron-ethyl 추천량 및 2배 처리에 의해서 방제되지 않았다. 추가적으로 pyrazosulfuron-ethyl 추천량의 4배처리에 의해 단지 20% 방제되었다. 그러나 다른 수집종은 pyrazosulfuron-ethyl 처리에 의해 90% 이상 방제되었다. 이러한 결과는 비록 수집종이 SU계 혼합제에 5-8년 연속하여 처리하였더라도 모든 수집종이

pyrazosulfuron-ethyl에 저항성은 아니었다. 다른 연구에서는 ALS 저해제를 4-7년 연속하여 처리 후에 ALS에 저항성이 출현하였다고 보고하였다(Sprague et al. 1997).

Table 1. Shoot dry weight (% of untreated control) of susceptible and suspected resistant accessions of *S. juncooides* treated with pyrazosulfuron-ethyl.

Accession	Herbicide rate (g ai ha ⁻¹)					
	21	42	84			
	25 DAT	35 DAT	25 DAT	35 DAT	25 DAT	35 DAT
Jeonnam NaJu 1	60	90	70	100	80	100
Jeonnam NaJu 2	50	90	80	93	80	100
Jeonnam JangHeung	50	90	80	95	90	100
Jeonbuk KimJae	0	0	0	0	0	20
Standard susceptible biotype	70	100	72	100	83	100

^aDAT, day after treatment

나. SU계 저항성 올챙고랭이 교차저항성

Pyrazosulfuron-ethyl에 저항성 올챙고랭이 수집종은 SU계 제초제인 azimsulfuron, bensulfuron-methyl 및 imazosulfuron과 imidazolinone계 제초제인 imazapyr와 imazaquin에 교차저항성을 보였다(Figure 1). 감수성 생태형은 앞에서 언급한 각 제초제 추천량의 1/2량 처리에 의해 완전 방제되었다. 그러나 저항성 생태형은 SU계 제초제 추천량의 8배 처리에 의해서도 방제되지 않았다. 4가지 SU계 제초제와 2가지 imidazolinone계 제초제에 대한 올챙고랭이 저항성 정도는 imazosulfuron(131배) > pyrazosulfuron-ethyl(90배) > azimsulfuron(65배) > bensulfuron-methyl(36배) > imazapyr(6배) > imazaquin(2배) 순으로 컸다. 본 연구 결과와 유사하게 일본에서 출현한 SU계 저항성 올챙고랭이는 SU계 제초제 bensulfuron-methyl, imazosulfuron 및 pyrazosulfuron-ethyl에 감수성 생태형에 비해 40 - 140배 더 저항성이었다(Kohara et al. 1999). 그러나 그들은 imidazolinone계 제초제에 대해서는 연구하지 않았다. 앞의

마디꽃과 알방동사니 연구에서처럼 일본에서 출현한 올챙고랭이와 한국에서 출현한 올챙고랭이를 직접 비교할 수는 없다. 왜냐하면 저항성 수준에 관여하는 몇몇 요인이

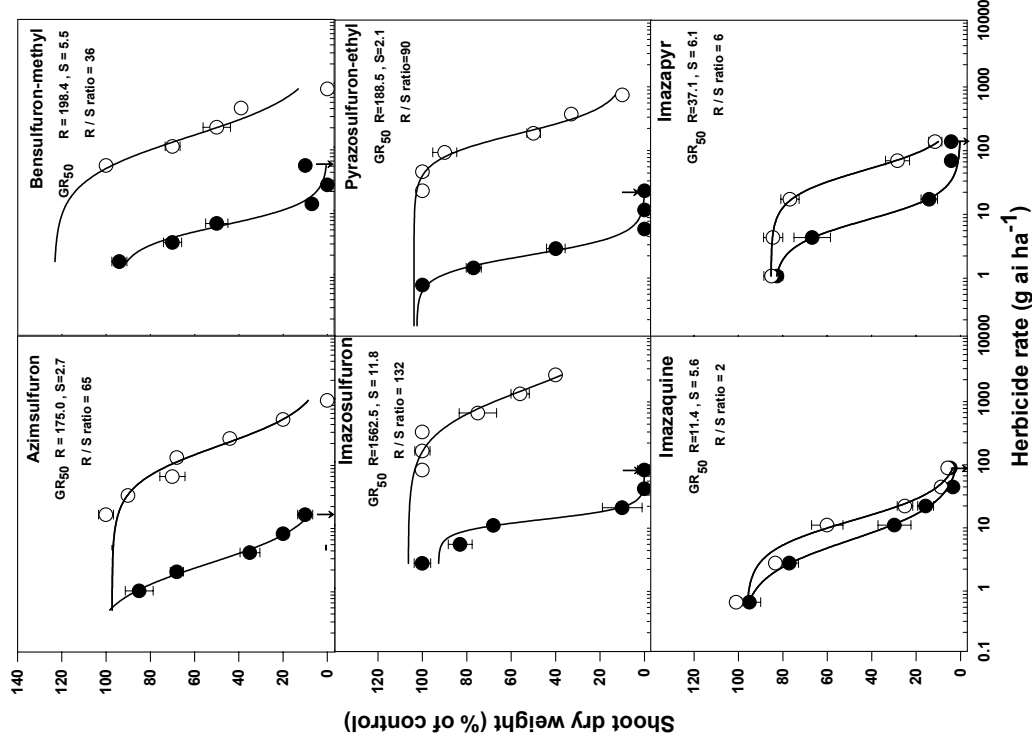


Figure 1. Shoot dry weight of susceptible (●) and resistant (○) biotypes of *S. juncooides* as affected by sulfonylurea herbicides in whole plant assay. Herbicides were applied at 2 leaf stage and shoot dry weight was determined 20 DAT. Vertical bars represent standard errors of the mean. Arrow indicates the recommended use rate of azimsulfuron (15 g ai ha⁻¹), bensulfuron-methyl (51 g ai ha⁻¹), imazosulfuron (75 g ai ha⁻¹), and pyrazosulfuron-ethyl (21 g ai ha⁻¹) for rice and the recommended use rate of imazapyr (125 g ai ha⁻¹) and imazaquin (80 g ai ha⁻¹) for non crop lands in Korea. GR₅₀ values were the imazosulfuron and pyrazosulfuron ethyl concentrations that reduced shoot dry weight by 50%. R/S ratios were calculated relative to the GR₅₀ value of the S biotype. Regression equations for shoot dry weight as affected by azimsulfuron were $Y=97.3/[1+(X/185.3)^{1.4}]$, $R^2=0.97$ for R and $Y=107.3/[1+(X/2.51)^{1.4}]$, $R^2=0.99$ for S biotypes. Regression equations for shoot dry weight as affected by bensulfuron-methyl were $Y=123.6/[1+(X/147.3)^{1.24}]$, $R=0.93$ for R and $Y=94.8/[1+(X/5.87)^{2.35}]$,

$R^2=0.97$ for S biotype. Regression equations for shoot dry weight as affected by imazosulfuron were $Y=106.4/[1+(X/1432.6)^{1.2}]$, $R^2=0.97$ for R and $Y=92.7/[1+(X/12.29)^{4.61}]$, $R^2=0.98$ for S biotypes. Regression equations for shoot dry weight as affected by pyrazosulfuron-ethyl were $Y=8.04+[95.8/[1+(X/168.7)^{2.07}]]$, $R^2=0.98$ for R, and $Y=102.6/[1+(X/2.07)^{2.8}]$, $R^2=0.99$ for S biotype. Regression equations for shoot dry weight as affected by imazaquin were $Y=96.4/[1+(X/11.9)^{1.73}]$, $R^2=0.98$ for R and $Y=98.6/[1+(X/5.82)^{1.47}]$, $R^2=0.98$ for S biotype. Regression equations for shoot dry weight as affected by imazapyr were $Y=85.3/[1+(X/44.99)^{1.98}]$, $R^2=0.99$ for R and $Y=83.9/[1+(X/7.39)^{2.07}]$, $R^2=0.99$ for S biotype.

다르기 때문이다. 또한 본 연구에 의하면 SU계 저항성 올챙고랭이 생태형은 imidazolinone계 제초제인 imazaquin과 imazapyr에 교차저항성을 보였다. 그러나 다른 SU계 저항성 잡초종인 물달개비과 마디꽃은 imidazolinone계 제초제에는 교차저항성이 없었다(Kuk et al. 2002a, b).

다. SU계 저항성 올챙고랭이 방제

저항성 올챙고랭이는 SU계와 작용기작이 다른 제초제에 다중저항성을 보이지 않았다(Table 2). 비록 토양처리 제초제인 butachlor, pretilachlor 및 thiobencarb 추천량 처리에 의해 저항성 및 감수성 올챙고랭이 생태형을 상당히 효과적으로 방제하더라도 이들 제초제는 다년생 잡초를 방제하지 못한다. 또한 저항성 올챙고랭이가 감염된 논 포장은 다른 올방개와 벼풀과 같은 다년생 잡초도 감염될 수 있다. 논 포장에서 다년생 잡초를 방제하기 위하여 butachlor, pretilachlor 및 thiobencarb는 SU계 제초제와 함께 사용한다. 그래서 저항성 올챙고랭이 방제 여부를 알아보기 위하여 다양한 SU계 및 비 SU계 혼합제를 사용하였다. 대부분 SU계 제초제 혼합제 추천량을 사용했을 때는 저항성 생태형을 방제하지 못했다. 이들 결과는 SU계 저항성 올챙고랭이는 SU계 혼합제에 의해 효과적으로 방제할 수 없음을 의미한다. 그러나 비 SU계 혼합제 bensulfesate + bifenox와 pyrazolate + butachlor는 저항성 생태형을 100% 방제하였다. 그래서 이들 결과는 비 SU계 혼합제 사용이 SU계 저항성 올챙고랭이를 방제하는 데 필요함을 의미한다. Kohara 등(1999)은 pretilachlor + bensulfesate, pyrazolate + dimethametryn 및 pyributicarb + bromobutide + benzenap가 일본 호카이도에서 출현한 SU계 저항성 올챙고랭이를 방제하는 효과적이라고 보고 하였다.

라. ALS 억제

저항성 및 감수성 올챙고랭이 지상부 조직에서 추출한 *in vitro* ALS 활성은 각각 403 ± 63 와 439 ± 82 acetoin량($\text{nmol hr}^{-1} \text{mg}^{-1}$ protein)로서 유사하였다. 이 결과는

저항성 생태형의 저항성이 작용점의 과다발현에 의해 기인되지 않음을 의미한다. 저항성 생태형의 *In vitro* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron에서 78배 그리고 pyrazosulfuron-ethyl에서 23배 더 저항성을 보였다(Figure 2). 본 연구 결과로

Table 2. Effect of herbicides with other modes of action and sulfonylurea herbicide based mixtures on the susceptible and resistant biotypes of *S. juncooides* with treated at 2 leaf stage.

Herbicide	Rate	No. of survivors		Shoot dry weight	
		S	R	S	R
Butachlor (5%)	1,500	74	69	80	75
Pretilachlor (2%)	1,200	69	72	75	78
Thiobencarb (7%)	2,100	77	70	75	78
Bensulfesate + bifenox (1.5 + 5%)	450 + 1,500	100	100	100	100
Bensulfuron-methyl + oxadiazon (0.13 + 0.8%)	39 + 240	87	10	97	35
Ethoxysulfuron + fentrazamide (0.1 + 1.0%)	30 + 300	90	19	97	27
Pyrazolate + butachlor (6 + 3.5%)	1,800 + 1,050	100	100	100	100
Pyrazosulfuron-ethyl + molinate (0.07 + 5%)	21 + 1,500	100	30	100	47
Azimsulfuron + Bensulfuron-methyl + anilofos (0.03 + 0.08 + 1.5%)	9 + 24 + 450	97	43	93	50
Pyrazosulfuron-ethyl + dithiopyr + cyhalofop-butyl (0.07 + 0.2 + 0.6%)	21 + 60 + 180	87	25	97	17
Pyriminobac-methyl + pretilachlor + pyrazosulfuron-ethyl (0.1 + 1 + 0.07%)	30 + 300 + 21	91	37	94	50

... % reduction based on untreated check ...

^aNumber of individual in the untreated control averaged 25 plants per pot (280 cm² surface area)

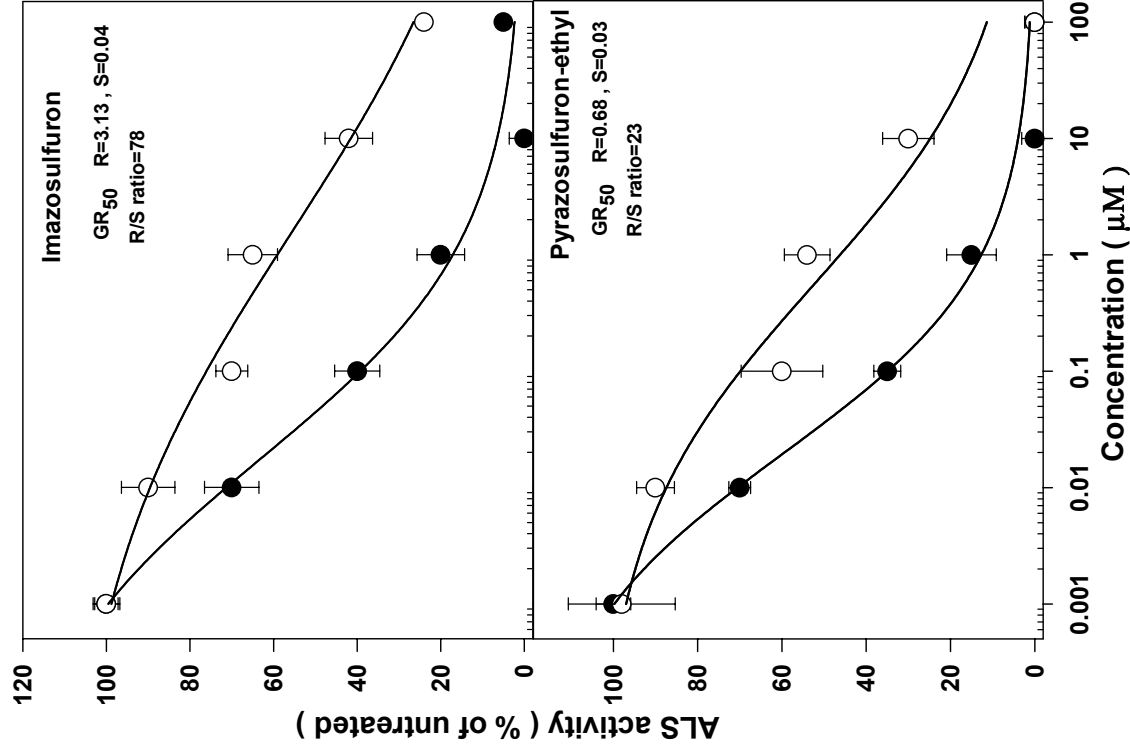


Figure 2. Effects of imazosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl on *in vitro* ALS activity of the susceptible (●) and resistant (○) biotypes of *S. juncooides*. Each data point is the mean \pm S.E. of three replications. I_{50} values were the imazosulfuron and pyrazosulfuron ethyl concentrations that reduced ALS activity by 50%. Regression equations for *in vitro* ALS activity as affected by imazosulfuron were $Y = 111.5/[1 + (X/1.54)^{0.28}]$, $R^2 = 0.98$ for R and $Y = 126.18/[1 + (X/0.018)^{0.49}]$, $R^2 = 0.99$ for S biotype. Regression equations for *in vitro* ALS activity as affected by pyrazosulfuron-ethyl were $Y = 104.3/[1 + (X/0.57)^{0.41}]$, $R^2 = 0.95$ for R and $Y = 119.8/[1 + (X/0.019)^{0.54}]$, $R^2 = 0.99$ for S biotype.

불 때 SU계 제초제에 저항성 생태형의 저항성 기구는 작용점 변형임을 알 수 있다. SU계 제초제에 저항성 올챙고랭이의 저항성 기구가 작용점 효소의 둔감성이라는 점에서 SU계 저항성 물달개비 및 외풀류와 유사하였다(Hwang et al. 2002; Kuk et al. 2002a; Uchino et al. 2002).

결론적으로 진북 김제에서 수집한 올챙고랭이는 pyrazosulfuron-ethyl에 저항성이었으나 다른 수집종은 저항성이 아니었다. 저항성 수집종은 다른 SU계 제초제 azimsulfuron, bensulfuron-methyl 및 imazosulfuron 그리고 imidazolinone계 제초제 imazapyr와 imazaquin에 교차저항성을 보였다. 올챙고랭이 저항성 생태형은 다중저항성을 보이지 않았다. 비 SU계 제초제 butachlor, pretilachlor 및 thiobencarb와 비 SU계 혼합제 bensulfuresate + bifenox 및 pyrazolate + butachlor는 저항성 및 감수성 생태형을 방제하는데 사용할 수 있다. 저항성 기구가 주로 작용점 효소 둔감성에 기인되므로 작용기작이 다른 제초제를 사용하는 것이 좋다. ALS 저항성은 종합적인 시스템을 이용하여 관리해야 하고, 계속적으로 SU계 저항성 올챙고랭이 분포 및 전파 등에 대해 조사하는 것이 저항성 관리하는데 절대적으로 필요하다.

4. 결과 요약

Sulfonylurea (SU)계 제초제에 저항성으로 의심된 올챙고랭이를 진라남,북도 4개 지역에서 수집하여 SU계 제초제인 pyrazosulfuron-ethyl에 저항성 유무를 확인하였다. 이들 수집종 중 진라북도 김제 수집종은 pyrazosulfuron-ethyl에 저항성으로 확인되었고, 다른 SU계 제초제인 azimsulfuron, bensulfuron-methyl 및 imazosulfuron 그리고 imidazolinone계 제초제인 imazapyr 및 imazaquin에도 교차저항성을 보였다. 저항성 생태형은 SU계와 작용기작이 다른 제초제, butachlor, pretilachlor 및 thiobencarb의 표준량 처리로 75-80%가 방제 되었다. 혼합제 중에는 bensulfuresate + bifenox 및 pyrazolate + butachlor는 저항성 올챙고랭이를 완전 방제할 수 있었다. 저항성 생태형의 *in vitro* ALS 활성은 감수성 생태형에 비해 imazosulfuron과 pyrazosulfuron-ethyl에 대해 각각 78배 및 23배 더 저항성이었다. 따라서 SU계 제초제에 대한 올챙고랭이 저항성 기작은 주로 작용점 효소인 ALS 변형에 기인되었다. 그러나 효소분석에 의한

SU계 체초제 저항성 수준이 whole plant 분석에 비해 훨씬 적었으므로 체초제 대사 또는 흡수 및 이행의 감소와 같은 다른 저항성 기작도 관련될 수 있을 것으로 생각된다. 저항성과 감수성 생태형간에는 적응성 차이가 인정되었다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구개발 목표와 내용

- ① 남부지역의 주요 농가의 현장 조사를 통하여 제초제 처리 후 잔존 잡초종의 종류와 방제 방법, 제초제 사용내력 및 재배양식 등을 파악한다.
- ② Sulfonylurea계 제초제에 저항성으로 의심되는 잡초 수집 및 저항성 여부확인
- ③ 농가포장의 잔존 잡초종중 sulfonylurea계 저항성잡초 출현실태의 지역별 조사
- ④ 단시간에 제초제 저항성 잡초 여부를 확인할 수 있는 간이 bioassay법 확립
- ⑤ Sulfonylurea계 제초제 저항성 및 감수성 생태형간의 ALS inhibitor제에 대한 반응
- ⑥ 작용기작이 다른 비 sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 생태형의 반응
- ⑦ 저항성 생태형의 번식 능력 및 생장 발달 차이
- ⑧ Sulfonylurea계 제초제 저항성잡초 방제를 위한 기초자료로서 표적효소(ALS) 활성을 *in vitro* 및 *in vivo* 수준에서 확인
- ⑨ Sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초의 효과적인 방제체계 확립을 위하여 비 sulfonylurea계 제초제와의 상호작용 평가에 의한 혼합제 선발
- ⑩ Sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초방제를 위한 포장실증시험

제2절 연차별 연구개발 목표와 내용

1. 1차년도

구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
주관	1. 잔존 잡초의 제초제 저항성 유무 검정 2. 신속한 저항성 잡초 검정을 위한 간이 bioassay법 개발	1. 농가 포장 잔존 잡초종의 sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 유무 검정 - bensulfuron-methyl - pyrazosulfuron-ethyl - imazosulfuron 등 - 1/5000a Wagner pot 시험(온실) - 물달개비, 올미, 미국외풀, 마디꽃 등의 종자 및 피경을 수집하여 파종 후 일정 생육시기에 농도별로 상기 약제를 처리하여 생육반응 검정 2. 포장 잔존 잡초종을 단시간내에 sulfonylurea 계 저항성유무를 확인할 수 있는 간이 bioassay 방법 확립 - 성식물의 leaf disc - 성식물의 ALS 활성 - 종자 및 seedling test - 뿌리침지 처리법 등 - 포장에 잔존하여 문제시되는 잡초를 채취하여 상기 시험으로 검정
협동	남부지역에서 제초제 처리후 잔존 잡초 발생 실태 파악 및 의심된 제초제 저항성 잡초종 수집	1. 남부지역의 주요 농가와 농업기술센터를 방문 조사하여 발생특징 파악 - 잔존잡초종(물달개비, 피, 미국외풀, 마디꽃, 올미 등) - 재배양식(2모작, 단작, 건담작파, 담수작파 등) - 사용제초제(혼합제, 단제, 사용시기, 유효수 등) - 주요재배 수도품종 - 이앙, 파종시기 - 추경여부 등 조사 2. 주요 잔존 잡초종 수집·종자 확보 - 물달개비 등 저항성 의심초종 수집 - Pot 이식 재배

2. 2차년도

<p>주관</p>	<p>1. Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비, 미국외플, 마디꽃에 대한 동일 작용기작을 보인 제초제와 다른 제초제에 대한 교차저항성 검증</p> <p>2. Sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초의 합리적 방제를 위한 혼합제 선발</p>	<p>1. whole-plant 수준에서 동일기작과 비동일 기작의 제초제에 의한 교차저항성 검증하여 저항성 잡초방제를 위한 대체 가능 제초제 선발</p> <ul style="list-style-type: none"> - bensulfuron-methyl - pyrazosulfuron-ethyl - imazosulfuron - pyrazolate - butachlor - molinate - bentazone 등 <p>2. 위에서 선발된 약제의 혼합에 의한 효과적 인 혼합모제 선발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1/5000a Wagner pot(은실) - 선발 약제의 각 농도별 상호작용 시험에 의한 평가 - 상호작용 평가에 의한 혼합제 수준 선정 - 선발 혼합제에 대한 벼의 약해 유무
<p>협동</p>	<p>1. 제초제 저항성 잡초종 출현지역 지도화</p> <p>2. 저항성 물달개비 생태형의 생장 발달, 적응성 차이</p>	<p>1. 저항성 잡초의 주요 발생지역을 조사하여 지도화한 후 발생추이를 구명</p> <ul style="list-style-type: none"> - 발생지역별 - 발생초종별 - 재배양식별 <p>2. 제초제 저항성 물달개비 생태형의 생태적 특성, 종자생산능력, 발아, 생장량을 pot에서 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> - 발아력 - 광합성, 호흡 - 엽면적 - 초장 - 종자생산량 - 적응력 차이 등

3. 3차년도

<p>주관</p>	<p>1. 저항성 및 감수성 물달개비, 미국외풀, 마디꽃 생태형의 작용점 반응시험</p> <p>2. 유망한 혼합제 선경에 의한 sulfonylurea계 제초제 저항성 잠초방제법의 포장실증시험</p>	<p>1. SU계 제초제의 target enzyme인 ALS활성에 의한 저항성검정 - <i>in vitro</i> - <i>in vivo</i></p> <p>2. 제초제 저항성 잠초방제를 위한 sulfonylurea계 제초제와 비 sulfonylurea계 제초제로 선정된 혼합제를 이용하여 포장실증시험 - 물달개비 출현 포장 - 미국외풀 출현 포장 - 마디꽃 출현 포장 - 포장에 2.5m²의 무저포트를 설치하여 저항성 잠초 방제 확인 - 토양처리 - 경엽처리</p>
<p>협동</p>	<p>1. 저항성 미국외풀, 마디꽃 생태형의 번식 차이</p> <p>2. 저항성 미국외풀, 마디꽃의 생태적 특성 및 적응성 차이</p>	<p>제초제 저항성 생태형의 종자생산능력, 발아, 생장량 차이(pot 시험). - 발아력 - 광합성 - 호흡 - 초장 - 종자생산량 - 외부 형태적 특성 - 적응력 차이 등</p>

제3절 연구평가의 착안점 및 달성도

구 분	평가의 착안점 및 달성도	
	착 안 사 항	달 성 도 (%)
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농가 포장조사에서 잔존잡초 발생 특징 및 실태는 파악하였는가? ○ 의심된 제초제 저항성 잡초 수집하였는가? ○ 제초제 저항성 잡초 확인을 위한 간이 bioassay 방법은 확립되었는가? ○ 잔존 잡초의 저항성 유무는 검정하였는가? 	<p>100%</p> <p>100%</p> <p>100%</p> <p>100%</p>
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 물달개비, 미국외풀, 마디꽃의 whole plant에 대한 교차저항성은 검정하였는가? ○ 저항성 잡초의 합리적인 방제를 위한 혼합제는 선발 되었는가? ○ 제초제 저항성 잡초 출현지역을 지도화 하였는가? ○ 제초제 저항성 물달개비 생태형의 생장, 발달 및 적응능력 차이를 연구하였는가? 	<p>100%</p> <p>100%</p> <p>100%</p> <p>100%</p>
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유망한 혼합제 선정에 의한 효과적인 방제 체계는 제시하였는가? ○ 저항성 잡초방제를 위한 포장실증시험을 실시하였는가? ○ 제초제 저항성 및 감수성 물달개비, 미국외풀, 마디꽃 생태형의 작용점 반응 차이는 확인하였는가? ○ 제초제 저항성 미국외풀, 마디꽃 생태형의 생장, 발달 및 적응 능력 차이를 연구하였는가? 	<p>100%</p> <p>100%</p> <p>100%</p> <p>100%</p>
최종평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저항성 잡초 현황 파악 및 의심된 제초제 저항성 잡초 수집 및 확인 정도 ○ 제초제 저항성 잡초의 저항성 검정 및 간이 bioassay 방법 확립 ○ 제초제 저항성 잡초의 적응성, 생장발달 차이 연구 ○ 제초제 저항성 잡초의 작용점에서 반응 차이 ○ 저항성 잡초 방제를 위한 포장 실증시험 실시 ○ 제초제 저항성 잡초방제를 위한 합리적 방제 체계 확립 	<p>100%</p> <p>100%</p> <p>100%</p> <p>100%</p> <p>100%</p> <p>100%</p>

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제1절 추가연구의 필요성

본 연구과제에서 얻어진 결과를 토대로 하여 전국적으로 문제시되는 SU계 저항성 잡초를 효율적으로 방제할 수 있는 제초제를 농민들에게 추천할 수 있을 것이다. 그래서 제초제 과다사용으로 인한 농가지출을 줄일 수 있고 아울러 토양오염을 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 또한 저항성 잡초에 대한 홍보를 통하여 농민들이 미연에 저항성 잡초출현을 예방할 수 있을 것이다. 그러나 이미 전국적으로 SU계 저항성 잡초가 많은 면적으로 진파되어 있고, 저항성 초종이 다양화해지므로 각각 초종에 대한 방제법이 상이하므로 앞으로 계속적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

제2절 활용계획

1) SU계 제초제 저항성 잡초 방제를 위한 홍보 및 기초 자료 제공

제초제 처리 후 잔여초종으로 고심하는 농가에 대하여 효과적인 방제방안 기술제시와 차년도의 제초제 사용기술에 대하여 이해서시킬 수 있는 자료를 제공할 수 있다.

2) 확인을 위한 간이 bioassay 방법

의심스런 제초제 저항성 잡초를 조기에 진단하기 위해서는 간편하게 저항성 잡초여부를 판단할 수 있는 간이 bioassay방법 확립이 필요하다. 빠른 시일내에 이들 의심스런 제초제 저항성 잡초의 유무를 농가에 알리고 대체 제초제 및 진략을 수립한다.

3) SU계 제초제 저항성 잡초방제를 위한 대체 제초제 사용기술 개발

먼저 특정 제초제에 저항성으로 확인된 잡초종 방제를 위하여 이 제초제에 작용기

작이 동일하거나, 이들 잡초를 방제가능한 작용기작이 다른 제초제를 공시하여 제초제 저항성 잡초방제가 가능한 대체 제초제를 제시할 수 있다.

4) ALS억제제 저항성 기작 이해

저항성 잡초종에 대한 ALS저해 기작을 이해함으로써 학문적 기여도가 크다.

5) 제초제 저항성 생태형의 적응성 이해

저항성 잡초로 간주하는 초종의 생태적인 특징과 환경 적응성을 이해함으로써 포장에서의 확산 방지에 기여할 수 있다.

6) 저항성 잡초방제기술의 개발로 저항성 잡초는 합리적인 제초제 사용기술이나 경종적 방법을 통하여 방제 가능하다는 인식을 부여할 수 있다.

제3절 본 연구과제를 통해 얻어진 연구실적

본 연구과제를 통해서 얻어진 연구실적은 SCI 논문 4편, 국내논문 8편, 국내외 학술회의 발표 10편, 학위논문 4편과 라디오, TV 및 신문 등에 저항성 잡초에 대하여 홍보하였다.

1. SCI 논문

- 1) Yong In Kuk, Ha Il Jung, Oh Do Kwon, Do Jin Lee, Nilda R. Burgos, and Ja Ock Guh. 2003. Rapid diagnosis of resistance to sulfonylurea herbicides in monochoria (*Monochoria vaginalis*). Weed Science. 51(3): 305-311.
- 2) Yong In Kuk, Oh Do Kwon, Ha Il Jung, Nilda R. Burgos, and Ja Ock Guh. 2002. Cross-resistance pattern and alternative herbicides for *Rotala indica* resistant to imazosulfuron in Korea. Pesticide Biochemistry and Physiology. 74: 129-138.
- 3) Yong In Kuk, Ha Il Jung, Oh Do Kwon, Do Jin Lee, Nilda R. Burgos, and Ja

Ock Guh. 2003. Sulfonylurea herbicide resistant *Monochoria vaginalis* in Korean rice culture. Pest Management Science (9월 출판중-인터넷 참조).

4) Yong In Kuk, Kyung Hyung Kim, Oh Do Kwon, Do Jin Lee, Nilda R. Burgos, and Ja Ock Guh. 2003. Cross-resistance pattern and alternative herbicides for *Cyperus difformis* resistant to sulfonylurea herbicides in Korea. Pest Management Science. In Press.

2. 국내논문

- 1) Kwon, O.D., S.J. Koo, J.S. Kim, D.J. Lee, T.S. Park, Y.I. Kuk, and J. O. Guh. 2000. Herbicide response and control of sulfonylurea-resistant biotype of *Monochoria vaginalis* in paddy fields in Chonnam province, Korea. Kor. J. Weed Sci. 20: 46-62.
- 2) Yong In Kuk, Oh Do Kwon, and Il Bin Im. 2002. Sulfonylurea herbicide-resistant *Scirpus juncooides* Roxb. in Korean rice culture. Kor. J. Weed Sci. 22(3): 296-305.
- 3) Yong In Kuk. 2002. Control of sulfonylurea herbicide-resistant *Lindernia dubia* in Korean rice culture. Korean J. Crop Science. 47(4): 328-334.
- 4) 권오도, 국용인, 이도진, 신해룡, 박인진, 김을배, 구자욱. 2002. Sulfonylurea계 제초제 저항성 물탈개비 생태형의 경합기간별 벼의 생장 및 수량. 한국잡초학회지. 22(2):147-153.
- 5) 국용인, 이도진, 권오도. 2002. 전남지역 수도작 지대 잔존잡초의 Sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 반응. 한국잡초학회지. 22(2): 163-171.
- 6) 임일빈, 강종국, 김선, 나승용, 국용인. 2003. 논에서 sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 을쟁고랭이의 방제. 한국잡초학회지. 23(2): 92-99.
- 7) Yong In Kuk, Oh Do Kwon, Dong Young Shin, Byung Sun Kwon, An Gie Jeong, Il Bin Im and Ja Ock Guh. 2003. Germination and growth of sulfonylurea herbicide-susceptible and -resistant *Monochoria vaginalis*, *Lindernia dubia*, and *Rotala indica* biotypes and rice yield loss by the resistant weeds. Korean J. Weed Sci. 23(2): 143-152.

- 8) Yong In Kuk and Oh Do Kwon. 2003. Effective herbicides for control of sulfonylurea-resistant *Monochoria vaginalis* in paddy fields. Korean J. of Crop Sci. In press.

3. 학술회의 발표

- 1) 박태선, 권오도, 이도진, 변종영. 2001. Sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초 연구 현황과 전망. 한국잡초학회심포지움 발표요지. 13-21.
- 2) D.J. Lee, O.D. Kwon, H.J. Lee, and J.O. Guh. 2000. Control of sulfonylurea-resistant biotype of *Monochoria vaginalis* in paddy fields in Chonnam province, Korea. International workshop in Japan. 169-176.
- 3) 권오도, 국용인, 정하일, 이도진, 구자욱. 2001. Sulfonylurea계 제초제 저항성 마디꽃(*Rotala indica*)의 방제. 한국잡초학회지 別. 21(2): 33-38.
- 4) 권오도, 국용인, 박홍규, 김석연, 이인. 2001. Sulfonylurea계 제초제 처리 후 생존 미국외풀에 의한 벼 수량 및 방제법. 한국잡초학회지 別. 21(2): 39-42.
- 5) 권오도, 이도진, 국용인, 신해룡, 김을배, 박인진. 2001. Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비 경합기간에 따른 벼 생육 및 수량성. 한국잡초학회지 別. 21(2): 43-46.
- 6) 국용인, 정하일, 권오도, 이도진, 이재홍, 구자욱. 2001. Sulfonylurea계 제초제 저항성 물달개비의 출현에 의한 벼의 수량 및 방제법. 한국잡초학회지 別. 21(2): 47-52.
- 7) 정하일, 국용인, 권오도, 이도진, 신지산, 구자욱. 2001. Sulfonylurea계 제초제 제초제 저항성 물달개비의 간이 진단법. 한국잡초학회지 別. 21(2): 85-89.
- 8) 국용인, 권오도, 김경현, 임일빈, 구자욱. 2002. 수도 재배포장에서 sulfonylurea계 제초제 저항성 알방동사니 방제. 한국잡초학회지 別. 22(2): 35-40
- 9) Ha Il Jung, Yong In Kuk, Oh Do Kwon, Dong Young Shin, Il Bin Im, and Ja Ock Guh. 2003. Growth difference of sulfonylurea herbicide-susceptible and -resistant *Monochoria vaginalis*, *Lindernia dubia*, and *Rotala indica* biotypes and rice yield loss by resistant weeds. Korean J. of Weed Science (Abstract).

23(1): 51-54.

- 10) SL Kwon, YI Kuk, OD Kwon, JO Guh and SD Song. 2003. Effect of bentazon plus MCPA on *Monochoria vaginalis* resistant and susceptible to sulfonyleurea herbicides in rice (*Oryza sativa*). 19th APWSS: 773-781.

4. 학위논문

- 1) Ha Il Jung. Occurrence of sulfonyleurea-resistant biotypes of *Monochoria vaginalis* in paddy fields in Korea. 2002. M.S. Thesis of Chonnam National University. 68 p.
- 2) 김을배. 2002. Sulfonyleurea계 제초제 저항성 물달개비의 제초제 반응 및 경합특성. 전남대학교 개발대학원 석사학위논문. 43 p.
- 3) Kyung Hyun Kim. 2003. Cross-resistant pattern and alternative herbicides for *Cyperus difformis* resistant to sulfonyleurea herbicides in Korea. Thesis of Sunchon National University. p. 33
- 4) 정안기. 2002. Sulfonyleurea계 제초제 저항성 및 감수성 잡초종의 생장특성과 저항성 잡초종에 의한 벼 수량감소. 전남대학교 개발대학원 석사학위논문. 30 p.

4. 라디오, TV 및 신문에 홍보

라디오 2회, TV 2회 및 신문에 약 20회 게재하여 저항성 잡초 출현에 따른 예방법과 방제법에 관하여 홍보.

제 6 장 참고문헌

- Alcocer-Ruthling, M., D.C. Thill and B. Shafii. 1992. Differential competitiveness of sulfonylurea resistant and susceptible prickly lettuce (*Lactuca serriola*). Weed Tech. 6: 303-309.
- Bernasconi P, Woodworth AR, Rosen BA, Subramanian MV, Siehl DL. 1995. A naturally occurring point mutation confers broad range tolerance to herbicides that target acetolactate synthase. *J Biol Chem* 270: 17381-17385.
- Boutsalis, P. and S. B. Powles. 1995. Inheritance and mechanism of resistance to herbicides inhibiting acetolactate synthase in *Sonchus oleraceus* L. Theoretical and Applied Genetics. 91: 242-247.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. Anal. Biochem. 72: 248-254.
- Brown H.M. 1990. Mode of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonylurea herbicides. Pestic Sci. 29: 263-281.
- Carol, A., M. Smith, D. C. Thil, M. I. Dial, and R. S. Zemetra. 1990. Inheritance of sulfonylurea herbicide resistance in *Lactuca* spp. Weed Tech. 4: 787-790.
- Caroline, S. 1991. Sulfonylurea herbicides. PJB Publication. Ltd., London. 179 p.
- Chodova, D. and J. Mikulka. 1992. Comparing some biological and physiological differences of susceptible and resistant common groundsel(*Senecio vulgaris* L.). Ocharana Rostlin. 28: 263-272.
- Christopher, J. T, S. B. Powles, J. A. M. Holtum, and D. R. Liljegren. 1991. Cross resistance to herbicides in annual ryegrass (*Lolium rigidum*) II. Chlorsulfuron resistance involves a wheat like detoxification system. *Plant Physiol.* 95: 1036-1043.
- Conrad, S.G. and S.R. Radosevich. 1979. Ecological fitness of *Senecio vulgaris* and

- Amaranthus retroflexus* biotypes susceptible or resistant to atrazine. J. Appl. Ecol. 16: 171-177.
- Cristoffoleti PJ, Westra P and III FM, Growth analysis of sulfonylurea resistant Dietrich, G. E. 1992. Imidazolinone resistant AHAS mutations. European Patent Application EP0525384A2.
- Dyer, W. E., P. W. Chee, and P. K. Fay. 1993. Rapid germination of sulfonylurea-resistant *Kochia scoparia* accessions is associated with elevated seed levels of branched chain amino acids. Weed Sci. 41: 18-22.
- Friesen LF, Morrison IN, Rashid A and Devine MD, Response of a chlorsulfuron resistant biotype of *Kochia scoparia* to sulfonylurea and alternative herbicides. *Weed Sci* 41:100-106 (1993).
- Gerwick, B. C., L. C. Mireles, and R. J. Eilers. 1993. Rapid diagnosis of ALS/AHAS resistant weeds. *Weed Technol.* 7: 519-524.
- Ghersa, C. M., M. A. Martinez-Ghersa, T. G. Brewer, and M. L. Roush. 1994. Selection pressures for diclofop-methyl resistance and germination time of Italian ryegrass. *Agron. J.* 86: 823-828.
- Gressel, J. and L. A. Segel. 1990. Modelling for the effectiveness of herbicide rotations and mixtures as strategies to delay or preclude resistance. *Weed Technol.* 4: 186-198.
- Guttieri, M. J., C. V. Eberlein, C. A. Mallory Simith, D. C. Thill, and D. L. Hoffman. 1992. DNA sequence variation in domain A of the acetolactate synthase genes of herbicide-resistant and susceptible weed biotypes. *Weed Sci.* 40: 670-676.
- Haigler, W.E., B.J. Gossett, J.R. Harris, and J.E. Toler. 1994. Growth and development of organic arsenical-susceptible and resistant common cocklebur(*Xanthium strumarium*) biotypes under noncompetitive conditions. *Weed Technol.* 8: 154-158.
- Hall, L. M. and M. D. Devine. 1990. Cross resistance of chlorsulfuron resistant

- biotype of *Stellaria media* to a triazolopyrimidine herbicide. *Plant Physiol.* 93: 962–966.
- Heap, I. M. 2002. International survey of herbicide resistant weeds. www.weedscience.com.
- Hiscox, J. D. and G. F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissues without maceration. *Can. J. Bot.* 57: 1332–1334.
- Hwang, I. T, K. H. Lee, S. H. Park, B. H. Lee, K. S. Hong, S. S. Han, and K. Y. Cho. 2001. Resistance to acetolactate synthase inhibitors in a biotype of *Monochoria vaginalis* discovered in Korea. *Pestic. Biochem. Physiol.* 71: 69–76.
- Itoh K, A. Uchino and H. Watanabe. 1998. A resistant biotype to sulfonyleurea in *Rotala indica* Koehn in Omagari, Akita prefecture. *J. Weed Sci., Tech.* 43(Suppl.) 40–41.
- Itoh K, Wang GX, Uchino A and Tachibana M, Control of *Lindernia* weeds resistant to sulfonyleureas. *J Weed Sci Technol* 42(Suppl.):24–25 (1997). (In Japanese)
- Itoh K. and G. X. Wang. 1997. Occurrence of sulfonyleurea resistant *Lindernia micrantha* D. Don. in Japan. *J. Weed Sci., Tech.* 42(Suppl.): 16–17.
- Itoh K., A. Uchino, G.X. Wang and S. Yamakawa. 1997. Distribution of *Lindernia* spp. resistant biotype to sulfonyleurea herbicides in Yuza town, Yamagata prefecture. *J. Weed Sci., Tech.* 42(Suppl.) 22–23.
- Itoh, K, G. X. Wang, A. Uchino, and M. Tachibana. 1997. Control of *Lindernia* weeds resistant to sulfonyleureas. *J. Weed Sci. Technol.* 42 (Suppl.): 24–25.
- Itoh, K, G. X. Wang, and S. Ohba. 1999. Sulfonyleurea resistance in *Lindernia micrantha*, an annual paddy weed in Japan. *Weed Research* 39: 413–423.
- Kohara, H, K. Konno, and M. Takekawa. 1998. Occurrence of sulfonyleurea resistant *Scripus juncooides* ssp. *juncooides* in Iwanmizawa city, Hokkaido prefecture. *J Weed Sci. Technol.* 43 (Suppl.): 36–37.
- Kohara, H., A. Uchino, and H. Watanabe. 2001. Seed germination of

- sulfonylurea-resistant *Scirpus juncooides* Roxb. Var. *ohwianus* T. Koyama at low temperature. J. of Weed Sci. and Tech. 46: 175-184.
- Kuk YI, Kwon OD, Jung HI, Burgos NR and Guh JO. 2002. Cross resistance pattern and alternative herbicides for *Rotala indica* resistant to imazosulfuron in Korea. *Pestic Biochem Physiol* 74: 129-138.
- Kuk, Y. I. 2002. Control of sulfonylurea herbicide-resistant *Lindernia dubia* (L.) Pennell var. *dubia* in Korean rice culture. Korean J. Crop Sci. 47: 328-334.
- Kuk, Y. I., H. I. Jung, O. D. Kwon, D. J. Lee, J. H. Lee, and J. O. Guh. 2001. Rice yield and control methods by occurrence of resistant *Monochoria vaginalis* biotypes to sulfonylurea herbicides. Korea J. Weed Sci. 21(Suppl.): 47-52.
- Kuk, Y. I., H. I. Jung, O. D. Kwon, D. J. Lee, N. R. Burgos, and J. O. Guh. 2003. Sulfonylurea herbicide resistant *Monochoria vaginalis* in Korean rice culture. Pest Man. Sci. In press.
- Kuk, Y. I., N. R. Burgos, and R. E. Talbert. 2000. Cross and multiple resistance of diclofop resistant *Lolium spp.* Weed Sci. 48: 412-419.
- Kuk, Y. I., O. D. Kwon and I. B. Im. 2002. Sulfonylurea herbicide-resistant *Scirpus juncooides* Roxb. in Korean rice culture. Korea J Weed Sci 22: 296-305.
- Kwon, O. D, S. J. Koo, J. S. Kim, D. J. Lee, H. J. Lee, T. S. Park, Y. I. Kuk, and J. O. Guh. 2000. Herbicide response and control of sulfonylurea resistant biotype of *Monochoria vaginalis* in paddy fields in Chonnam province, Korea. *Korea J. Weed Sci.* 20: 46-52.
- Kwon, O. D, Y. I. Kuk, H. I. Jung, D. J. Lee, and J. O. Guh. 2001. Control of resistant *Rotala indica* biotypes to sulfonylurea herbicides. *Korea J. Weed Sci.* 21 (Suppl.) : 33-38.
- Lovell, S.T, L. M. Wax, M. J. Horak, and D. E. Peterson. 1996. Imidazolinone and sulfonylurea resistance in a biotype of common waterhemp (*Amaranthus rudis*). *Weed Sci.* 44: 789-794.

- Lubigan RT and Vega MR, The effect on yield of the competition of rice with *Echinochloa crus galli* (L.) Beauv. and *Monochoria vaginalis* (Burm. f.) Presl. *Philippine Agric* 15: 210-215 (1971).
- Mallory Smith, C. A, D. C. Thill, and M. J. Dial. 1990. Identification of sulfonylurea herbicide resistant prickly lettuce (*Lactuca serriola*). *Weed Technol.* 4: 163-168.
- Murray, B. G., L. F. Friesen, K. J. Beaulieu, and I. N. Morrison. 1996. A seed bioassay to identify acetyl CoA carboxylase inhibitor resistant wild oat (*Avena fatua*) populations. *Weed Technol.* 10: 85-89.
- Osuna, MD, Vidotto F, Fischer AJ, Bayer DE, De Prado R and Ferrero A. 2002. Cross resistance to bispyribac sodium and bensulfuron methyl in *Echinochloa phyllopogon* and *Cyperus difformis*. *Pestic Biochem Physiol* 73: 9-17.
- Pappas Fader, T. F, J. F. Cook, T. Butler, P. J. Lana, and J. Hare. 1993. Resistance of California arrowhead and smallflower umbrella plant to sulfonylurea herbicides. *Proc. Western Weed Sci. Soc. Conf.* Newark, CA, USA. p76.
- Park TS, Kim CS, Moon BC, Lee IY, Park JE and Kim KU. 2000. Occurrence and control of sulfonylurea resistant biotype *Lindernia dubia* in paddy fields in southern province of Korea. *Korean J Weed Sci* 20: 73-75.
- Park TS, Kim CS, Park JP, Oh YK and Kim KU. 1999. Resistance biotype of *Monochoria korsakowii* against sulfonylurea herbicides in the reclaimed paddy fields in Korea. *Proc of the 17th Asian Pacific Weed Sci Soc Conf* pp 252-254.
- Park, T. S, C. S. Kim, B. C. Moon, I. Y. Lee, J. E. Park, and K. U. Kim. 2000. Occurrence and control of sulfonylurea resistant biotype, *Lindernia dubia* in paddy fields in southern province of Korea. *Korea J. Weed Sci.* 20: 73-75.
- Park, T. S, C. S. Kim, B. C. Moon, I. Y. Lee, J. E. Park, and K. U. Kim. 2001.

- Occurrence and control of sulfonylurea resistant biotype *Lindernia dubia* in paddy fields in southern province of Korea. *Korea J. Weed Sci.* 21: 33-41.
- Park, T. S., C. S. Kim, J. P. Park, Y. K. Oh, and K. U. Kim. 1999. Resistance biotype of *Monochoria korsakowii* against sulfonylurea herbicides in the reclaimed paddy fields in Korea. *Proc. of the 17th Asian Pacific Weed Sci. Soc. Conf.* pp 252-254.
- Park, T.S., C.S. Kim, J.E. Park, Y.K. Oh and K.U. Kim. 1999. Sulfonylurea-resistant biotype of *Monochoria kosakowii* in reclaimed paddy fields in Seosan, Korea. *Kor. J. Weed Sci.* 19: 340-344.
- Prather, T. S., J. M. Ditomaso and J. S. Holt. 2000. Herbicide resistance : Definition and management strategies. <http://anrcatalog.udavis.edu>.
- Primiani, M. M., J. C. Cotterman and L. L. Saari. 1990. Resistance of kochia (*Kochia scoparia*) to sulfonylurea and imidazolinone herbicides. *Weed Technol.* 4: 169-172.
- Ray, T. B. 1984. Site of action of chlorsulfuron : inhibition of valine and isoleucine biosynthesis in plants. *Plant Physiol.* 75: 827-831.
- RDA, Guidance methods for food crop cultivation. 1998. pp 55-86.
- Saari LL, Cotterman JC and Primiani MM. 1992. Sulfonylurea herbicide resistance in common chickweed, perennial ryegrass, and Russian thistle. *Pestic Biochem Physiol* 42: 110~118.
- Saari, L. L., J. C. Cotterman and D. C. Thill. 1994. Resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides. *In*. S.B. Powles and J.A.M. Holtum (eds). *Herbicide Resistance in plants: Biology and Biochemistry.* pp.83-139, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Saari, L. L., J. C. Cotterman and M. M. Primiani. 1992. Sulfonylurea herbicide resistance in common chickweed, perennial ryegrass, and Russian thistle. *Pestic. Biochem. Physiol.* 42: 110-118.
- Sanders, B. A. 1994. The life cycle and ecology of *Cyperus difformis* (rice weed)

- in temperate Australia : a review. Australian Journal of Experimental Agriculture. 34 : 1031~1038.
- SAS. 2000. SAS/STAT User's Guide, Version 7. Cary, NC: Statistical Analysis System Institute, Electronic Version.
- Shaner DL. 1999. Resistance to acetolactate synthase (ALS) inhibitors in the United States: history, occurrence, detection and management. *J Weed Sci Technol* 44: 405-411.
- Shibuya, K, T. Yoshioka, A. Yoshio, S. Satoh, S. Yoshida, and T. Hashiba. 1999. Analysis of acetolactate synthase genes of sulfonylurea herbicide resistant and susceptible biotypes of *Scirpus juncooides* subsp. *Juncooides*. *J. Weed Sci. Techn.* 44 (Suppl.): 72.
- Simpson, D. M., E. W. Stoller, and L. M. Wax. 1995. An *in vivo* acetolactate synthase assay. *Weed Technol.* 9: 17-22.
- Smith, C. 1991. Sulfonylurea Herbicides. 179p, PJB Publishing Co. Ltd., London.
- Smith, M. C., D. C. Thill, M. J. Dial, and R. S. Zemetra. 1990. Inheritance of sulfonylurea herbicide resistance in *Lactuca* spp. *Weed Tech.* 4: 787-790.
- Sprague CL, Stoller EW and Wax LD. 1997. Common cocklebur (*Xanthium strumarium*) resistance to selected ALS inhibiting herbicides. *Weed Technol* 11: 241-247.
- Thill, D. C, C. A. Mallory Smith, L. L. Saari, J. C. Cotterman, M. M. Primiani, and J. L. Saladini. 1991. Sulfonylurea herbicide resistant weeds: Discovery, distribution, biology, mechanism, and management, in *Herbicide Resistance in Weeds and Crops*, ed by Caseley J. C, G. W. Cussans, and R. K. Atkin, Butter worth Heinemann, Ltd, Oxford, UK. pp 115-128.
- Thompson, C. R., D. C. Thil, and B. Shafii. 1994. Growth and competitiveness of sulfonylurea- resistant and -susceptible Kochia (*Kochia scoparia*). *Weed Sci.* 42: 172-179.
- Uchino, A and H. Watanabe. 1999. Mutation in the acetolactate synthase genes of

- the biotypes of *Lindera* spp. resistant to sulfonyleurea herbicides. *J. Weed Sci. Tech.* 44 (Suppl): 80.
- Uchino, A., K. Itoh, and G. X. Wang. 1997. Resistant biotypes to sulfonyleurea herbicides in *Lindernia* spp. *J. Weed Sci. Technol.* 42 (Suppl.) : 20-21.
- Uchino, A., K. Itoh, G. X. Wang, and M. Tachibana. 2000. Sulfonyleurea resistant biotypes of *Lindernia* species in the Tohoku region and their response to several herbicides. *Weed Research* 45 : 13-20.
- Wang GX, Watanabe H, Uchino A and Itoh K. 2000. Response of sulfonyleurea resistant biotypes of *Linnophila sessiliflora* to selected SU and alternative herbicides. *Pestic Biochem Physiol* 68: 59-66.
- Wang, G. X, H. Kohara, and K. Itoh. 1997. Sulfonyleurea resistance in a biotype of *Monochoria korsakowii*, an annual paddy weed. *Japan Proc. British Crop Prot. Conf. - Weeds.* pp 311-318.
- Wang, G. X, H. Watanabe, A. Uchino, and K. Itoh. 2000. Response of sulfonyleurea resistant biotypes of *Linnophila sessiliflora* to selected SU and alternative herbicides. *Pestic. Biochem. Physiol.* 68 : 59-66 .
- Wang, G. X., H. Kohara, and K. Itoh. 1997. Sulfonyleurea resistance in a biotype of *Monochoria korsakowii*, an annual paddy weed in Japan. Brighton Crop Protection Conference-Weeds, pp. 311-318.
- Wang, G.X., H. Watanabe, A. Uchino and K. Itoh. 2000. Response of sulfonyleurea-resistant biotypes of *Linnophila sessiliflora* to selected SU and alternative herbicides. *Pestic. Biochem. Physiol.* 68: 59-66.
- Westerfeld WW. 1945. A colorimetric determination of blood acetoin. *J of Biol Chem* 161: 495-502.
- Wiederholt, R.J., and D.E. Stoltenberg. 1996. Absence of differential fitness between giant foxtail (*Setaria faberi*) accessions resistant or susceptible to acetyl-Co enzyme A carboxylase inhibitors. *Weed Sci.* 44 : 18-24.
- Woodworth AR, Bernasconi P, Subramanian MV and Rosen BA. 1996. A second

naturally occurring point mutation confers broad based tolerance to acetohydroxyacid synthase inhibitors. *Plant Physiol* 111S: 415.

Wright TR, Bascomb NF, Sturmer SF and Penner D. 1998. Biochemical mechanism and molecular basis for ALS inhibiting herbicide resistance in sugarbeet (*Beta vulgaris*) somatic cell selections. *Weed Sci* 46: 13-23.

강병화, 김길웅. 1978. 너도방동사나이에 대한 수도품종의 경합력. 한작지 23: 81-85.

구자옥, 이관섭, 권삼렬, 허상만. 1983. 수도 이품종의 작기이동에 따른 제초시기 결정에 관한 연구. 한잡초지. 3(2): 166-173.

구자옥, 허상만. 1989. 올챙고랭이의 종내 및 종간경합에 관한 연구. 한잡초지. 9(2): 168-173.

권오도, 구석진, 김정수, 이도진, 이희재, 박태선, 국용인, 구자옥. 2000. 전남지역에서 발생한 Sulfonylurea계 제초제 저항성 물탈개비 제초제 반응 및 방제. 한국잡초학회지 20(1): 46-52.

권오도, 국용인, 이도진, 신해룡, 박인진, 김예배. 2002. Sulfonylurea계 제초제 저항성물탈개비생태형의 경합기간별 비의 생장 및 수량. 한국잡초학회지 22(2) : 147-153.

김순철, 이수관, 박래경. 1981. 수도품종의 간장차이가 잡초와의 경쟁력에 미치는 영향. 한잡초지. 1: 44-51.

김순철, 최충돈, 이수관. 1984. 기계이앙담과 손이앙담간의 잡초발생생태 차이. 한잡초지. 4:11-18.

김순철, 허휘, 박래경, 제상율. 1977. 논에 발생하는 다년생잡초 발생이 수도생육 및 수량에 미치는 영향. 한작지. 22(1) : 61-69.

김순철, 허휘, 박래경. 1977. 담 잡초 방제에 관한 연구. 제Ⅲ보 담 주요 일년생잡초의 발생이 수도생육 및 수량에 미치는 영향. 농사시험연구보고(작물) 19: 133-144.

김순철, Keith Moody. 1980. 잡초군락별로 본 질소소비량과 제식밀도가 수도의 경합력에 미치는 영향. 한작지. 25: 17-27.

김제규, 김동수, 이종훈, 강병화. 1979. 기계이앙담에서 수도와 잡초와의 경합시기에 관한 연구. 농시보고. 21편(작물) : 131-144.

농약사용지침서. 2000. 농약공업협회. 823 p.

- 농약연보. 2002. 농약공업협회. 629 p.
- 농촌진흥청. 1983. 농사시험연구조사기준. 453 p.
- 박상용, 고성림, 한성수. 2002. 올챙이고랭이(*Scirpus juncooides* Roxb.) 수집종의 Sulfonylurea계 제초제의 대한 저항성. 한국잡초학회지 22(4) : 334-342.
- 미야하라 마스지, 이도진. 2002. 일본의 수도작 잡초방제. 한잡초지 21(4): 291-305.
- 박광호, 김길용, 김순철. 1985. 논 잡초 물달개비와 수도와의 경합. 한잡초지. 5: 131-136.
- 박진구. 1972. 嶺南地域 畚 主要雜草의 分布調査와 水稻와의 競合 및 藥劑防除에 關한 研究. 동아대학교 대학원 碩士學位 論文.
- 박태선, 권오도, 김창석, 김길용. 2001. 한국 남서지방 수도답에서 발생한 Sulfonylurea 저항성 잡초 및 다른 계통의 제초제에 대한 그들의 반응. 한국잡초학회지 21(3) : 213-217.
- 박태선, 권오도, 이도진, 변종영. 2001. Sulfonylurea계 제초제 저항성 잡초 연구 현황과 전망. 한국잡초학회지 21(2) : 99-109.
- 박태선, 김창석, 문병철, 이인용, 임순택, 박재음, 김길용. 2001. 한국 남부지방 논에서 sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 미국의풀(*Lindernia dubia* (L.) Pennell var. *dubia*). 한잡초지. 21: 33-41.
- 박태선, 김창석, 문병철, 이인용, 임순택, 박재음, 김길용. 2001. 한국 남부지방 논에서 sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 미국의풀(*Lindernia dubia* (L.) Pennell var. *dubia*). 한잡초지. 21: 33-41.
- 박태선, 김창석, 박재음, 오영근, 김길용. 1999. 한국 서산 간척지에서 sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 물옥잠 발생. 한국잡초학회지 19(4) 340-344.
- 박태선, 김태완, 김길용. 2002. Sulfonylurea계 제초제 저항성 물옥잠(*Monochoria korsakowii*)의 생육과 경합 특성. 한국잡초학회지 22(4) : 368-376.
- 박태선, 문병철, 오세문, 김길용. 2002. 한국 논에서 발생한 Sulfonylurea계 제초제 저항성 물옥잠(*Monochoria korsakowii*)의 제초제 반응. 한국잡초학회지 22(4) : 359-367.

이동우, 이재철, 김영호, 홍유기, 손석룡. 1987. 적미의 경합기간과 밀도가 수도생육 및

- 수량에 미치는 영향. 한잡초지 7: 45-51.
- 이영만, 이은용. 1976. 수도의 재식밀도 차이로 인한 수량구성요소의 변동과 수량과의 관계. 서울대학교 농과대학 논문집. 1권(2호): 1-19.
- 이한규, 구자욱. 1982. 논 다년생잡초 올미의 경합생태에 관한 연구. 한국잡초학회지 2(2) : 114-121.
- 임일빈, 김 선, 강종국, 나승용. 2003. 논에서 Sulfonylurea계 제초제에 대한 저항성 알방동사니의 방제. 한국잡초학회지 23(1) : 54-62.
- 조형열, 이홍우, 권용웅. 1983. 너도방동사니의 밀도와 경합기간이 수도의 생육과 수량에 미치는 영향. 한국잡초학회지 3(2) : 156-165.
- 笠原安夫. 1962. 雑草の特性と雑草害. 作物大系 14- I : 1-88.
- 野田建兒, 小澤啓男, 芝山秀次郎. 1971. 水稻の雑草害に關する研究-水稻の生育時期とヒエよる雑草害-雑草研究 7:49-53.
- 千坂英雄. 1966. 水稻と雑草の競争. 雑草研究 5 : 16-22.
- 荒井正雄, 川島良一. 1956. 水稻栽培に於ける雑草害の生態學的研究 I. 水稻と雑草の競争機構について. 日作記 25(2) : 115-119.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.