

Pyrazosulfuron-ethyl과 Imazaquin의 살초작용 비교

황인택 · 최정섭 · 김진석 · 조광연*

Comparison of Herbicidal Action between Pyrazosulfuron-ethyl and Imazaquin

Hwang, I.T., J.S. Choi, J.S. Kim, J.S. Kim and K.Y. Cho*

ABSTRACT

To know whether pyrazosulfuron-ethyl(PYR) and imazaquin(IMA), known as a acetolactate synthase(ALS) inhibitors, have a same herbicidal action pattern in rice(*Oryza sativa*) or barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*), an inhibition pattern and a response characteristics in combination with dymron or butachlor were investigated. In contrast to the phytotoxicity of rice treated with IMA, the one treated with PYR was completely tended to be recovered after 25 days after treatment. Safening effect of dymron against PYR was effectively developed to transplanted-rice, while such an effect was not shown in combination with IMA. In combination with PYR and butachlor, antagonistic effect was observed in both simultaneous or sequential treatment on barnyardgrass, however, additive effect was rather shown in combination with IMA and its activity was dominantly dependent on the first applied compound. I_{50} of PYR and IMA on the ALS extracted from barnyardgrass was $4 \times 10^{-7}M$ and $2.8 \times 10^{-6}M$, respectively. Butachlor did not affect their activities on ALS *in vitro*. These results suggest that PYR and IMA might have a different action each other in the pathway to a final herbicidal activity even though their primary action site is ALS.

Key words : acetolactate synthase, butachlor (*N*-butoxymethyl-2-chloro-2',6'-diethylacetanilide), dymron {1-(α , α -dimethylbenzyl)-3-(4-methyl-phenyl)urea}, imazaquin {2-(4,5-isopropyl-4-methyl-5-oxo-imidazolin-2-yl)-3-quinolic acid}, pyrazosulfuron-ethyl [ethyl-5-{3-(4,6-dimethoxy pyrimidin-2-yl)ureidosulfonyl}-1-methylpyrazole-4-carboxylate].

서 언

Sulfonylurea와 Imidazolinone계 제초제는 최근에 개발된 제초제군으로서 아주 적은량으로 높

은 제초활성을 발휘하며, 대상작물도 다양하고 인축에 대한 독성도 적은 것으로 보고되어 있다. 또한 이들은 화학구조면에서 공통점이 없지만 분지아미노산의 생합성에 관여하는 효소 acetolactate synthase(ALS)를 저해하는 것으로 알

* 한국화학연구소(KRICT, P.O. Box 107, Yusung, Taejeon, 305-606, Korea)

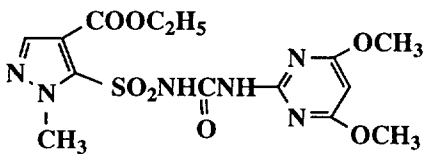
<1996. 7. 15 접수>

려져 있다^{2,17,18}). 그러나 아직까지 이들 두가지 약제를 동시에 비교하거나 동일한 조건에서 생리적 반응성을 조사한 결과가 부족하여 명확한 결론을 내리지 못하고 있지만 ALS 저해 이후의 살초작용에 대해서는 서로 다른 작용성을 가지고 있을 가능성도 보고되어 있다^{1,4,14}). 예를 들어 ALS 저해제에 대한 저항성 초종의 저항성비율이 sulfonylurea와 imidazolinone계에 대하여 서로 다르게 나타나거나, 초종별 50% 생육억제농도와 ALS 효소활성 50% 억제농도의 경향이 서로 일치하지 않는다. 이는 두 약제가 동일한 작용점 ALS를 억제한다 해도 살초작용의 발현에 관련된 ALS 억제작용의 비중이 서로 다를 가능성을 시사하고 있다.

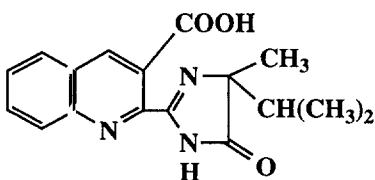
한편 sulfonylurea, imidazolinone계와 chloroacetamide계 제초제는 구조와 작용기작이 서로 다르지만 동일한 약해경감제 1,8-naphthalic anhydride(NA)에 의하여 약해경감효과가 높게 발생되는 것이 약해라 한다면, 하나의 화합물이 서로 다른 제초제에 대하여 공통적으로 높은 약

해경감효과를 나타내는 것은 각 제초제의 살초작용에 공통점이 있기 때문이라고 가정할 수 있다. 또한 이들 제초제를 혼합처리하여 상호작용성을 조사한다면 살초작용의 공통점을 비교할 수도 있을 것이다. 따라서 NA에 의해서 공통적으로 약해경감효과가 우수하게 나타나는 chloroacetamide계 제초제 butachlor을 이용하거나, 수도용 sulfonylurea계 제초제의 약해경감제로 사용되는 dymron을 이용하여 sulfonylurea와 imidazolinone계의 제초제가 가지는 살초작용의 차이점을 비교할 수 있을 것으로 생각되었다.

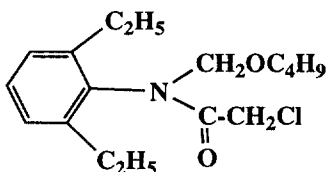
따라서 본 실험에서는 분지아미노산 생합성 저해제로 알려진 sulfonylurea계의 pyrazosulfuron-ethyl(PYR)과 imidazolinone계의 imazaquin(IMA)을 대상으로 벼에 대한 약해발생양상, dymron에 의한 약해경감효과, 강피에 대한 butachlor와의 상호작용성, ALS에 대한 혼합작용 등을 조사함으로써 두 약제의 살초작용이 동일한지 아니면 차이점을 가지는지를 비교하고자 하였다.



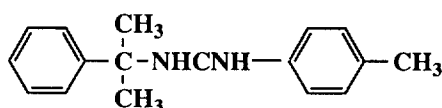
Pyrazosulfuron-ethyl
Ethyl-5-[3-(4,6-dimethoxypyrimidin-2-yl)ureidosulfonyl]-1-methylpyrazole-4-carboxylate



Imazaquin
2-(4,5-Isopropyl-4-methyl-5-oxo-imidazolin-2-yl)-3-quinolic acid



Butachlor
N-Butoxymethyl-2-chloro-2',6'-diethylacetanilide



Dymron
1-(α,α -Dimethylbenzyl)-3-(4-methyl-phenyl)urea

Fig. 1. Structural formular of herbicides used in this study.

재료 및 방법

1. 벼에 대한 pyrazosulfuron-ethyl과 imazaquin의 생장억제 및 dymron 혼합처리효과

곤죽한 토양을 일정량씩 와그너 포트(1/5,000 a)에 담고 표면에 최아된 벼씨(동진벼)를 파종하였다. 온실(25±5°C)에서 생장한 2.5엽기의 유묘를 3cm 깊이로 담수시키고 각 제초제를 담수표면에 점적 처리하였다. 제초제 원제는 원제회사 또는 제품회사로부터 분양받았고 IMA는 한국화학연구소 제초제실험실에서 합성하였다. 약제처리 농도는 PYR과 IMA의 원제를 acetone(50%)과 계면활성제(tween-20, 0.1%)로 조제한 유제를 10, 20, 40g/ha로 처리하였고, 약제 처리 후 5일 간격으로 생장하는 벼의 지상부 초장을 계속적으로 조사하였다. 한편 dymron 처리에 의한 약해경감효과는 표면적 150cm²의 사각 플라스틱 포트에 1.5엽기 또는 2.5엽기의 유묘를 1주 3본씩 이식하고 2일 후 PYR과 IMA를 각각 10, 20, 40, 80g/ha으로 처리하거나 dymron(125, 250, 500g/ha)과 혼합처리하였다. 혼합처리의 결과는 약제처리 30일 후에 지상부 생체중을 측정하였다.

2. Butachlor와의 혼합효과

곤죽한 토양을 일정량씩 와그너 포트(1/5,000a)에 담고 표면에 최아된 강피 종자를 파종하였다. 강피가 2.5엽기에 도달하였을 때 PYR(10, 20g/ha)과 IMA(20, 40g/ha)를 단제로 처리하거나 butachlor(100, 200, 400, 800, 1,600g/ha)와 혼합 처리하였다. 처리순서는 동시 혼합처리 및 선 후 교차처리를 하였고, 처리방법은 각 원제를 용매와 계면활성제로 조제한 유제를 담수표면에 점적 처리하였다. 결과조사는 처리 3주 후에 지상부의 생체중을 측정하였다. 동시 혼합처리한 결과는 Colby법³⁾에 의하여 관측치와 기대치의 상관성을 분석하였다.

3. Acetolactate synthase 추출 및 활성측정

ALS는 Shaner et al.¹⁵⁾의 방법을 이용하여 추출하였다. 식물체의 지상부 50g씩 수확하여 액체 질소로 동결시켜 마쇄하고, potassium-phosphate 완충용액으로 혼화시킨 후 추출하였다. 5mM MgCl₂, 10mM sodium pyruvate를 용해시킨 0.1M potassium-phosphate buffer(pH 7.5) 용액 100ml를 넣어 glass homogenizer로 균질화시킨 후 8겹의 거즈로 거른 여액을 15,000xg, 4°C에서 15분간 원심분리하여 상정액을 취하였다. 이 상정액을 ammonium sulfate(25~50%)로 분별 침전시켜 20,000xg, 4°C에서 20분간 원심분리하였다. 원심분리로 모아진 침전물을 0.1M potassium-phosphate 완충용액에 현탁시켜 동일한 완충용액으로 포화시킨 Sephadex G-25(1.5×30cm)컬럼을 통과시켰다(유속 250ml/hr). 컬럼으로부터 활성부위만을 채취하여 분석용 조효소로 사용하였다. 효소활성은 조효소액 1ml(단백질 함량 3~4mg/ml)에 0.9ml의 반응액(10mM MgCl₂, 10mM sodium pyruvate, 0.1mM thiamine pyrophosphate를 용해시킨 50mM potassium phosphate 완충용액, pH 7.5)을 첨가하고, 필요시 acetone에 용해시킨 PYR과 IMA의 원제를 반응액에 0.1ml씩 처리하여 최종농도가 10⁻⁵, 10⁻⁶, 10⁻⁷, 10⁻⁸M이 되도록 하였다. 반응은 pyruvate를 첨가하면서 개시하였고, 30°C의 수조에서 30분간 반응시킨 후 10N H₂SO₄ 30ml씩 넣어 반응을 종료시켰다. 효소활성은 Westerfeld의 방법¹⁹⁾에 따라 생성된 acetoin량을 다음과 같이 측정하였다. 반응을 종료시킨 시료는 60°C의 항온수조에서 15분간 decarboxylation시키고 0.5%(w/v)의 creatine 용액 0.5ml와 10% NaOH에 용해시킨 5%(w/v)의 1-naphthol용액 0.5ml를 넣고 흔들어 준 다음 60°C의 항온수조에서 15분간 발색시켰다. 발색반응이 끝난 각 시료는 2,860xg에서 3분간 원심분리하여 상정액의 흡광도를 530nm에서 측정하였고, 제초제에 의한 효소활성의 억제율은 무처리에 대한 백분율로 표시하였다.

결과 및 고찰

1. 벼에 대한 pyrazosulfuron-ethyl과 imazaquin의 약해발생 양상

벼의 지상부 생장곡선을 통하여 조사한 약제별 약해발생 양상을 보면 PYR을 처리한 경우 10g/ha처리에서는 생장저해증상이 관찰되지 않았지만 20, 40g/ha처리에서는 생장저해증상이 관찰되었다. 생장저해증상은 약제처리 5일 후부터 15일 사이에 가장 심하게 나타났으며 20일 후부터는 회복되는 경향을 보여 25일 후에는 무처리와 대등하였다. 그러나 IMA를 처리한 경우에는 처리량이 증가됨에 따라 생장

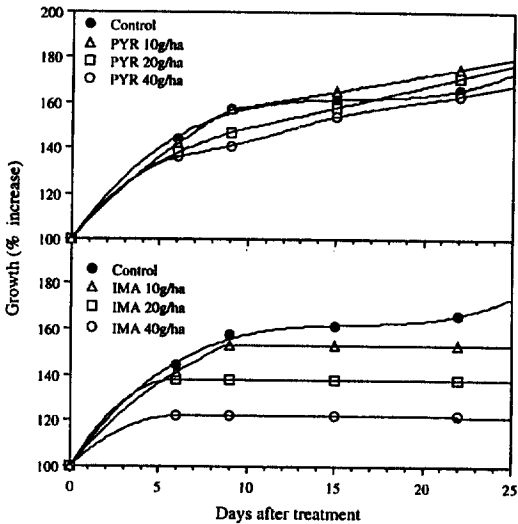


Fig. 2. Growth curve of rice treated with pyrazosulfuron-ethyl(PYR) or imazaquin(IMA).

Table 1. Effect of pyrazosulfuron-ethyl on the fresh weight of transplanted rice treated with or without dymron.

| Dymron (g/ha) | Pyrazosulfuron-ethyl (g/ha) | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|--------------------|------|------|------|
| | 1.5-leaf seedlings | | | | 2.5-leaf seedlings | | | |
| | 80 | 40 | 20 | 10 | 80 | 40 | 20 | 10 |
| 0 | 1.0 | 5.7 | 7.4 | 8.5 | 4.8 | 10.9 | 9.1 | 11.2 |
| 62.5 | 5.8 | 8.1 | 8.3 | 8.4 | 4.7 | 9.4 | 10.3 | 9.4 |
| 125 | 5.1 | 7.0 | 6.7 | 8.8 | 5.4 | 10.6 | 8.5 | 10.9 |
| 250 | 5.9 | 7.4 | 7.1 | 9.5 | 5.4 | 9.4 | 9.1 | 8.8 |
| 500 | 4.8 | 7.9 | 7.9 | 8.9 | 7.1 | 10.9 | 10.0 | 10.8 |
| LSD _{.05} | 1.8 | 1.4 | N.S | N.S | 1.4 | N.S | N.S | N.S |

N.S means not significantly different at 5% level of LSD test.

Fresh weight of untreated control in 1.5 and 2.5-leaf seedlings was 9.9 and 11.8g/ha, respectively.

억제 속도가 빠르고, 억제정도도 크게 나타났으며 모든 처리구에서 생장이 억제된 이후 회복되지 못하고 25일 후에는 고사 직전에 있었다(그림 2).

2. Dymron 혼합처리에 의한 약해경감효과

PYR과 IMA를 고농도로 처리하면 1.5, 2.5엽기 이상벼의 생육을 크게 저해하였다. PYR을 처리하면 1.5엽기를 이양한 경우 80g/ha에서는 고사 직전에 있었고, 10~40g/ha의 처리에서 모두 약간의 생장억제를 나타내었다. 그러나 2.5엽기의 유묘를 이양한 경우에는 80g/ha에서만 50% 정도의 생장억제를 나타내었다. IMA를 처리한 경우에도 1.5엽기와 2.5엽기 이상벼에 대하여 모두 20g/ha 이상의 처리에서 심한 생장억제를 나타내었다. 한편 PYR과 dymron을 혼합처리하면 약해경감효과가 우수하게 나타나 1.5엽기의 벼를 이양하고 40g/ha의 PYR을 처리하면 생체중이 1.0g이었지만 dymron 62.5g/ha와 혼합처리하면 5.8g으로 증가되어 약해경감효과가 아주 우수하게 나타났다. 그러나 완전히 회복되지는 않았고 dymron의 혼합량을 증가시켜도 약해경감효과는 크게 높아지지 않았다. PYR 20g/ha의 처리구에서도 PYR 40g/ha의 처리에서와 동일한 경향이였다. 이양벼에 대한 약해는 80g/ha의 처리에서만 나타났는데 500g/ha의 dymron을 혼합하였을 경우에 약해경감효과가 우수하게 나타났다(표 1).

그러나 IMA에 대한 dymron의 약해경감효과는 나타나지 않았다(표 2). 즉 20g/ha의 IMA를

Table 2. Effect of imazaquin on the fresh weight of transplanted rice treated with or without dymron.

| Dymron (g/ha) | Imazaquin (g/ha) | | | | | | | |
|--------------------|--------------------|-----|-----|-----|--------------------|-----|-----|-----|
| | 1.5-leaf seedlings | | | | 2.5-leaf seedlings | | | |
| | 80 | 40 | 20 | 10 | 80 | 40 | 20 | 10 |
| 0 | 0 | 0 | 1.8 | 5.1 | 0 | 0 | 2.8 | 7.7 |
| 62.5 | 0 | 0 | 2.1 | 6.3 | 0 | 0 | 2.5 | 8.5 |
| 125 | 0 | 0 | 3.2 | 7.2 | 0 | 0 | 3.2 | 8.8 |
| 250 | 0 | 0 | 2.0 | 3.9 | 0 | 0 | 3.5 | 7.0 |
| 500 | 0 | 0 | 1.0 | 5.9 | 0 | 0 | 3.0 | 7.8 |
| LSD _{.05} | N.S | N.S | 0.9 | N.S | N.S | N.S | N.S | N.S |

N.S means not significantly different at 5% level of LSD test.

Fresh weight of untreated control in 1.5 and 2.5-leaf seedlings was 9.9 and 11.8g/ha, respectively.

처리한 1.5엽기와 2.5엽기 이앙벼는 모두 심한 생장억제를 일으켜 푼트당 1.8, 2.8g으로 무처리 18, 24%에 해당하였다. 또한 40g/ha의 IMA를 처리한 경우에는 완전히 고사되었다. Dymron과 혼합처리를 한 경우에도 IMA 단제 처리구와 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 dymron에 의한 약해경감작용은 동일한 작용점을 가진 두 제초제에 대하여 전혀 다른 반응을 나타내어 dymron에 의한 약해경감작용은 공통 작용점인 ALS와 관계가 없는 것으로 생각되

며 약해경감작용은 약제의 흡수, 이행, 분해대사 등과 관련되어 있거나 두 약제의 살초작용이 크게 다를 수 있음을 시사하였다.

3. Butachlor과의 혼합처리에 의한 강피 방제 효과

강피 2.5엽기를 대상으로 PYR과 butachlor 또는 IMA와 butachlor의 혼합처리에 의한 반응성을 비교하였다. 이들 제초제의 동시 혼합처리에 의하여 나타난 효과는 Colby법으로 기대치와 실측치의 상관관계를 분석하였다. PYR과 butachlor을 혼합처리한 경우에는 길항적인 관계를 나타내었으나 IMA와 butachlor을 혼합처리한 경우에는 상가적인 관계를 나타내었다(그림 3).

혼합처리에 의한 결과를 해석하기 위하여 두 제초제를 2일 간격으로 처리순서를 바꾸어 순차적으로 처리하였다.

PYR을 먼저 처리하고 2일 후 butachlor을 처리하면 강피에 대한 생육 억제효과는 PYR 단제처리보다 감소되었다(그림 4). 즉, PYR을 기준으로 보면 강피에 대한 생장억제율이 PYR 단제를 10g/ha으로 처리하였을 때 40% 정도이었고, 20g/ha으로 처리하였을 때에는 60% 정도이었지만 2일 후 butachlor을 제제처리하면 강피에 대한 생장억제율이 감소되었다. 즉, butachlor의 처리농도가 증가되면 강피에 대한 생장억제율이 감소되어 1,600g/ha의 처리에서는 무처리와 유사하게 되었다. 예를 들어 PYR 10g/ha 단제에서 나타난 40% 정도의 억제율이 butachlor

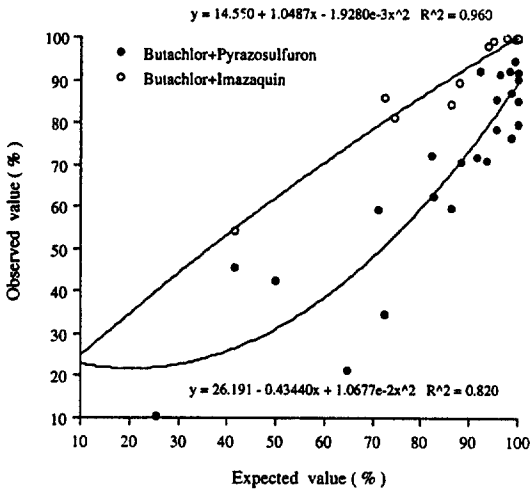


Fig. 3. Relationships between observed value and expected value from Colby's method when pyrazosulfuron or imazaquin was applied to barnyardgrass with butachlor.

Colby's equation : $A(1, 2) = A(1) + A(2) - A(1) \times A(2) / 100$. Where A(1) and A(2) is activity of compound "1" and "2", respectively. A(1, 2) is the predicted activity from mixture containing "1" and "2".

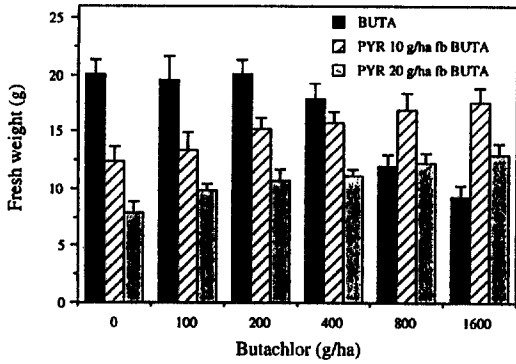


Fig. 4. Effect of sequential application of pyrazosulfuron-ethyl (PYR) followed by butachlor (BUTA) on barnyardgrass.

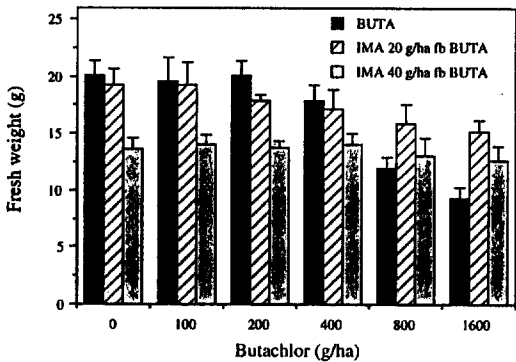


Fig. 5. Effect of sequential application of imazaquin (IMA) followed by butachlor (BUTA) on barnyardgrass.

1,600g/ha를 체계처리 하였을 때에는 10% 정도로 나타났다. 또한 PYR 20g/ha 처리에서도 60% 정도의 강피 생장억제율을 나타내었지만 butachlor의 체계처리 농도가 증가함에 따라 강피의 생장억제가 회복되어 PYR 10g/ha 처리와 동일한 경향을 나타내었다. 특히 단계처리에 의해서는 강피의 생장을 억제하지 못하는 양의 butachlor을 체계처리한 경우에도 PYR의 효과가 감소되는 경향이였다. 한편 butachlor을 기준으로 할 경우 800g/ha를 처리하면 강피에 대한 생장억제율이 40% 정도이었지만 10g/ha의 PYR을 먼저 처리한 경우에는 15% 정도로 감소되었고, 1,600g/ha를 처리하면 강피에 대한 생장억제율이 50% 정도 이었지만 10, 20g/ha의 PYR을 먼저 처리한 경우에는 각각 35, 10%

정도로 감소되었다. 따라서 PYR과 butachlor의 체계처리는 동시 혼합처리에서와 같이 강피의 생장억제작용에 상호 길항적으로 작용하였다.

그러나 IMA를 먼저 처리하고 2일 후 butachlor을 처리하면 강피에 대한 생육 억제효과는 IMA 단계처리 효과보다 증대되거나 동일하였다(그림 5). 즉, IMA를 기준으로 보면 강피에 대한 생장억제율이 IMA 단제를 20g/ha으로 처리하였을 때 10% 정도이었지만 2일 후 butachlor을 체계처리하면 강피에 대한 생장억제율이 다소 증가되었다. 또한 butachlor의 처리농도가 증가 되면 생장억제율도 약간씩 증가되었다. 그러나 IMA 단제를 40g/ha으로 처리하였을 때에는 butachlor을 체계처리하여도 강피에 대한 생장억제율은 변화하지 않았다. 한편 butachlor을 기준으로 할 경우 800g/ha를 처리하면 강피에 대한 생장억제율이 40% 정도이었지만 20g/ha의 IMA를 먼저 처리한 경우에는 20% 정도로 감소되었고, 1,600g/ha를 처리하면 강피에 대한 생장억제율이 50% 정도이었지만 20g/ha의 IMA를 먼저 처리한 경우에는 30% 정도로 감소되었다. 그러나 IMA를 40g/ha로 먼저 처리하고 2일 후에 butachlor을 처리한 경우에는 먼저 처리한 IMA의 효과에 영향을 주지 않았다. 즉, IMA를 먼저 처리하고 2일 후에 butachlor을 처리한 결과는 두 약제의 직접적인 상호작용성이 나타나지 않으며, 먼저 처리한 IMA 단계의 효과가 지배적으로 나타나는 것으로 생각되었다.

다음은 butachlor을 먼저 처리하고 2일 후 PYR을 체계처리한 결과로서(그림 6) butachlor을 기준으로 하면 2일 후에 처리한 PYR의 양에 따라 다소간 차이가 있지만 대체적으로 큰 영향을 미치지 못하였다. 그러나 PYR을 기준으로 할 경우에는 먼저 처리한 butachlor에 의해 2일 후에 체계처리한 PYR의 효과는 PYR 단계처리에 비하여 강피에 대한 생장억제효과가 크게 감소되어 나타났다. 예를 들어 PYR을 10g/ha으로 단계처리하면 40% 정도 강피의 생장을 억제하지만 butachlor 100, 200g/ha를 먼저 처리한 경우에는 각각 5, 20% 정도로 감소되

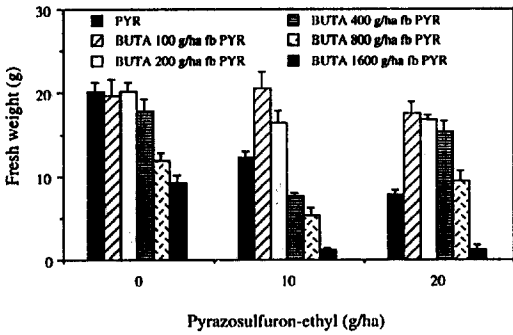


Fig. 6. Effect of sequential application of butachlor (BUTA) followed by pyrazosulfuron-ethyl (PYR) on barnyardgrass.

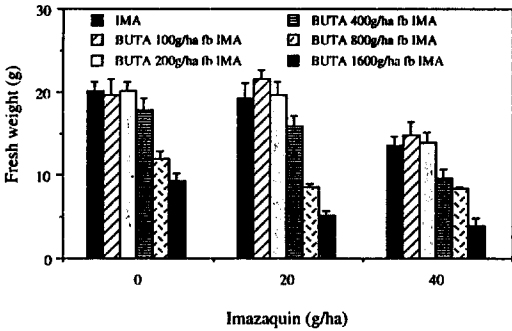


Fig. 7. Effect of sequential application of butachlor (BUTA) followed by imazaquin(IMA) on barnyardgrass.

었고, PYR을 20g/ha을 체계처리하였을 때에는 butachlor 100, 200, 400, 800g/ha 처리에서 모두 PYR 단제의 효과가 완전히 나타나지 못하고 강피에 대한 생장억제효과가 감소되어 나타났다. 이는 먼저 처리한 butachlor이 2일 후 처리한 PYR의 효과발현을 억제하였지만 2일 후에 처리한 PYR이 먼저 처리한 butachlor의 작용을 방해하지는 못하였다.

Butachlor을 먼저 처리하고 2일 후 IMA를 체계처리한 결과(그림 7) butachlor을 기준으로 하면 2일 후에 처리한 IMA의 양에 따라 다소간 차이가 있지만 대체적으로 butachlor 단제처리 효과보다 IMA를 체계처리하였을 때 강피에 대한 생장억제효과가 증가되었다. IMA를 기준으로 할 경우 IMA 단제처리효과보다 butachlor와의 체계처리에서 강피에 대한 생장억제효과

가 크게 나타났다. 특히 butachlor 1,600g/ha을 먼저 처리하고 2일 후에 IMA를 처리한 결과에서는 상가적인 효과를 나타내었다. 그러나 대체적으로 butachlor와 IMA의 체계처리에서는 먼저 처리한 butachlor의 작용에 2일 후에 처리한 IMA는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

동시 혼합처리에서는 제초제 성분간의 화학 반응, 또는 처리후 흡수에 대한 경쟁적인 효과 등이 관여할 수 있지만, 상호 순차적으로 체계 처리를 할 경우에는 먼저 처리한 제초제의 흡수가 선행되어 동시 혼합처리에서 발생할 수 있는 경쟁적 작용이 배제될 수 있다^{2,17,18}.

따라서 동시 혼합처리와 체계처리에서 나타난 두 제초제의 상호 작용효과는 두 계열의 제초제 PYR과 IMA가 butachlor에 대한 서로 다른 작용성을 가지고 있다고 할 수 있다. 특히 PYR과 butachlor의 길항작용은 먼저 처리한 제초제가 다음에 처리되는 제초제의 효과를 상실하게 하는 것으로 보아 살초작용기작 중 공통된 경로에 생리적인 길항작용이 관여하는 것으로 생각되었다.

3. ALS에 대한 butachlor의 혼합처리 효과

PYR 또는 IMA와 butachlor는 상호작용성이 크게 다르게 나타났기 때문에 PYR과 IMA의 공통 작용점인 ALS에 대한 혼합효과를 조사하였다. 2.5엽기의 논피 지상부로부터 추출한 ALS에 대하여 각 제초제의 효소활성 억제율을 조사하여 각 약제의 50% 저해농도를 구하였다(그림 8). 강피의 ALS에 대한 효소활성 50% 억제농도는 PYR이 $4 \times 10^{-7}M$ 이었고, IMA는 $2.8 \times 10^{-6}M$ 로서 PYR이 IMA보다 7배 정도 강하게 나타났다.

작용점인 ALS에 대하여 PYR과 IMA의 butachlor와의 혼합작용을 조사하기 위하여 PYR 및 IMA의 ALS 효소활성 50% 저해농도와 butachlor 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , $10^{-4}M$ 을 혼합 처리하였다(그림 9). Butachlor는 강피의 ALS 활성에 전혀 영향을 주지 않았으며, 혼합처리에서도 butachlor는 PYR 또는 IMA의 ALS 활

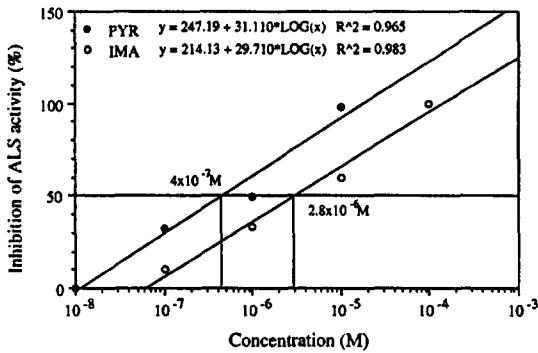


Fig. 8. Effect of pyrazosulfuron-ethyl(PYR) and imazaquin(IMA) on acetolactate synthase activity in barnyardgrass.

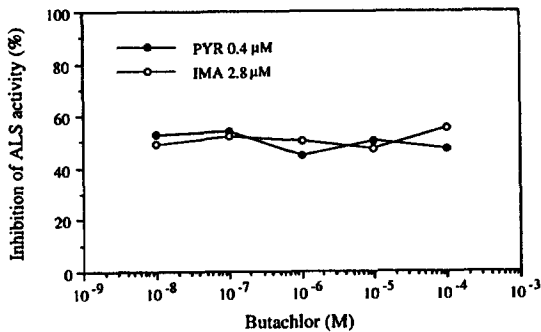


Fig. 9. Effect of pyrazosulfuron-ethyl(PYR) or imazaquin(IMA) in combination butachlor on acetolactate synthase activity in barnyardgrass.

성억제효과에 상호작용성이 나타나지 않았다. 따라서 PYR 및 IMA 두 제초제와 butachlor의 혼합처리에서 나타난 상호 작용은 이들의 공통작용점인 ALS에 대한 영향이 아니고 고유의 살초작용과 관련되어 있을 것으로 생각되었다.

그동안 두 제초제의 일차 작용점이 ALS라는 사실은 잘 알려져 있지만 ALS저해 이후의 살초기작에 대해서는 아직 밝혀내지 못하고 있다. 이들 제초제에 의한 살초작용의 과정은 크게 두 가지로 나누어 설명되고 있다. 첫째, ALS가 저해되면 분지아미노산, 즉 valine, leucine과 isoleucine의 생합성이 이루어지지 않기 때문에 이들을 구성요소로 하는 단백질의 합성이 저해되어 식물체가 고사된다는 것^{11,12)}과, 둘째, 이들 제초제를 처리하면 *Salmonella typhimurium*과 같은 미생물의 경우에는 ALS의

기질 중 하나인 2-ketobutyrate의 축적이 이루어지고 좁개구리밥(*Lemna minor*)과 같은 수생식물에서는 2-ketobutyrate의 transamination화산물인 α -amino-*n*-butyrate가 축적된다는 사실로부터 축적된 기질이 독작용을 일으켜 미생물이나 식물을 죽게한다는 것이다^{6,10)}. 그러나 아직까지 이러한 keto acids들의 독작용이 고등식물에서는 밝혀지지 않았으며, Shaner & Singh¹⁶⁾에 의하면 옥수수에 IMA를 처리하면 2-ketobutyrate와 α -amino-*n*-butyrate의 축적이 이루어지나, 이들의 축적이 생육저해와는 관련이 없었다고 하였다. ALS 저해제를 처리하면 가장 빠르게 나타나는 생리적 증상으로 세포분열의 저해를 들 수 있는데, ALS의 저해와 세포분열의 저해와의 관련성에 대해서도 아직 뚜렷하게 밝혀지지 못하고 있다^{9,13)}. 또한 황 등⁸⁾에 의하면 온실실험에서 나타난 두 계열의 제초제에 대한 식물종별 제초제반응성이 실험실적 조건에서의 ALS 효소활성에 대한 식물종별 제초제반응성과 일치하지 않거나 초종에 따라서는 반대로 나타나는 결과를 보고하여 sulfonylurea와 imidazolinone계 제초제의 살초기작과 작용기작의 차이를 지적하기도 하였다.

본 실험에서 나타난 결과를 종합적으로 검토하면 PYR과 IMA는 분지 아미노산 생합성 경로의 효소 ALS를 동일한 작용점으로 가지고 있음에도 불구하고 PYR을 처리한 벼의 생장억제증상은 회복되지만 IMA 처리에서는 회복되지 못하였고, dymron 혼합처리에 의한 약해경감효과가 PYR에 대해서는 우수하게 나타났으나 IMA에 대해서는 나타나지 않았고, butachlor와의 혼합작용에서도 PYR은 상호 길항적으로 작용하였지만, IMA는 상호 상가적으로 작용하였다. 그러나 작용점인 ALS에 대해서는 전혀 영향을 주지 않았기 때문에 PYR과 IMA는 서로 다른 살초기작을 가지고 있을 가능성을 시사하였다. 그러나 두 제초제의 살초기작과 작용기작의 차이를 밝혀내기 위해서는 많은 연구가 계속되어야 할 것이며, 이러한 결과는 새로운 제초제의 개발에 중요한 정보를 제공할 것으로 생각한다.

적 요

Sulfonylurea계 제초제 pyrazosulfuron-ethyl과 imidazolinone계 제초제 imazaquin을 대상으로 약해발생양상, dymron에 의한 약해경감효과, butachlor와의 상호작용성, ALS에 대한 혼합작용 등을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 제초제에 의한 벼(동진)의 성장저해증상은 pyrazosulfuron-ethyl 처리구에서 시간이 경과 되면서 회복되었지만 imazaquin 처리구에서는 회복되지 않았다.
2. 높은 농도의 pyrazosulfuron-ethyl에 의한 벼의 약해는 dymron 혼합처리에 의하여 크게 감소되었지만, IMA에 대해서는 약해경감효과가 나타나지 않았다.
3. 혼합처리에 의한 강피의 성장억제효과는 동시 또는 체계처리 모두 동일한 경향으로 pyrazosulfuron-ethyl과 butachlor은 길항적이었지만 imazaquin과 butachlor은 상가적이었다.
4. Pyrazosulfuron-ethyl과 imazaquin의 ALS 효소 활성 50% 저해농도는 각각 $4 \times 10^7 M$, $2.8 \times 10^6 M$ 이었고 혼합처리할 경우 butachlor은 두 제초제의 ALS 저해작용에 영향을 주지 않았다.

이상의 결과를 보면 pyrazosulfuron-ethyl과 imazaquin이 공통적으로 ALS를 저해하지만 살초기작은 서로 다른 것으로 생각되었다.

인 용 문 헌

1. Brown, M.A., T.Y. Chiu, and P. Miller. 1987. Hydrolytic activation versus oxidative degradation of assert herbicide, an imidazolinone aryl- carboxylate, in susceptible wild oat versus tolerant corn and wheat. Pestic. Biochem. Physiol. 27:24-29.
2. Caroline, S. 1991. Sulfonylurea herbicides. PJB Publications, Richimond, VA. 179p.
3. Colby, S.R. and G.F. Warren. 1963. Herbicide combination enhances selectivity. Science

- 147-362.
4. Devine, M.D., M.A. Susan Marles, and L.M. Hall. 1991. Inhibition of acetolactate synthase in susceptible and resistant biotypes of *Stellaria media*. Pestic. Sci. 31:273-280.
5. Devine, M.D., S.O. Duke, and C. Fedtke. 1989. Physiology of herbicide action. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cloffs. New Jersey. pp.376-394.
6. Epplevaum, S. and D. Landstein. 1992. Is the inhibitory effect of the herbicide sulfometuron-methyl due to 2-ketobutyrate accumulation? In B.K. Singh, H. Flores, and H. Shannon (eds.) Biosynthesis and molecular regulation of amino acids in plants. Amer. Soc. Plant Physiol. Rockville. MD. pp.352-353.
7. Hatzios, K.K. 1989. Mechanisms of action of herbicide safeners: An overview, In "Crop safeners for herbicides: Development, uses, and mechanisms of action" (K.K. Hatzios and R.E. Hoagland, Eds). Academic Press. New York. pp.65-101.
8. 황인택 · 홍경식 · 조광연. 1995. Sulfonylurea 및 Imidazolinone계 제초제의 살초작용과 acetolactate synthase 활성 억제작용. 韓雜草誌. 15(1):54-62.
9. 김기주 · 황인택 · 최정섭 · 조광연 · 변종영. 1996. Chlorsulfuron과 Imazaquin에 대한 옥수수의 생리적 반응. 韓雜草誌. 16(2):64-71.
10. LaRossa, R.A. and T.K. van Dyk. 1987. Toxic accumulation of α -ketobutyrate caused by inhibition of the branched-chain amino acid biosynthetic enzyme acetolactate synthase in *Salmonella typhimurium*. J. Bacteriol. 169 :1372-1378.
11. Mifflin, B.J. 1971. Cooperative feedback control of barley acetohydroxyacid synthetase by leucine, isoleucine, and valine. Arch. Biochem. Biophys. 146:542-550.
12. Mifflin, B.J. and P.R. Cave. 1972. The control of leucine, isoleucine, and valine biosynthesis

- in a range of higher plants. *J. Exp. Bot.* 23: 511-516.
13. Rost, T.L. and F. Daniel. 1990. Is there a relationship between branched- chain amino acid pool size and cell cycle inhibition in roots treated with imidazolinone herbicides? *J. Plant Growth Regul.* 9:227-232.
 14. Shaner, D.L., B.K. Singh, and M.A. Stidham. 1990. Interaction of imidazolinones with plant acetoxy acid synthase: Evidence for *in vivo* binding and competition with sulfometuron -methyl. *J. Agric. Food Chem.* 38:1279-1282.
 15. Shaner, D.L., M.L. Reider. 1986. Physiological responses of corn(*Zea mays*) to AC243,997 in combination with valine, leucine, and isoleucine. *Pestic. Biochem. Physiol.* 25:248-257.
 16. Shaner, D.L. and B.K. Singh. 1993. Phytotoxicity of acetoxy acid synthase inhibitors is not due to accumulation of 2-ketobutyrate and/or 2-aminobutyrate. *Plant Physiol.* 103: 1221-1226.
 17. Shaner, D.L. 1991. The imidazolinone herbicides. CRC Press, Boca Raton, FL. 290p.
 18. Stetter, J. 1994. Chemistry of plant protection. 10. Herbicides inhibiting branched-chain amino acid biosynthesis -Recent development. Springer- Verlag. New York. 219p.
 19. Westerfeld, W.W. 194. A colorimetric determination of blood acetoin. *J. Biol. Chem.* 161:495-502.