

Chlorsulfuron과 Imazaquin에 대한 옥수수의 생리적 반응

김기주** · 황인택* · 최정섭* · 조광연* · 변종영**

Physiological Responses of Corn Plants to Chlorsulfuron and Imazaquin

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

ABSTRACT

This study was conducted to determine the physiological responses of corn plants to chlorsulfuron, CHL, (2-chloro-N-(((4-methoxy-6-methyl-1,3,5-triazin-2-yl)amino)carboxyl) benzenesulfonamide) and/or imazaquin, IMA, (2-(4,5-dihydro-4-methyl-4-(1-methyl)-5-oxo-1H-imidazol-2-yl)-3-quinoline carboxylic acid). CHL inhibited the plant growth within 6h after treatment, whereas IMA inhibited the growth more slowly(i.e., 36h). CHL inhibited the cell division of the root tips rapidly, however, little effect was found with IMA treatment. Neither CHL nor IMA had effect on the cell elongation of the shoots. CHL inhibited acetolactate synthase(ALS) activity of the roots within 1h after treatment. Interaction between CHL and IMA in growth inhibition was found to be additive or synergistic with simultaneous or sequential treatment of the two herbicides, respectively. In addition, interaction between CHL and IMA in ALS inhibition was found to be additive when the two herbicides were treated simultaneously.

Key words : additive effect, ALS activity, cell division, cell elongation, growth inhibition, interaction, sequential treatment, simultaneous treatment, synergistic effect.

緒 言

현재 우리는 ‘인구증가와 농촌노동력 감소 및 노령화에 대처하기 위한 신규제초제 개발의 가속화’와 ‘환경보전 및 보건위생의 강조에 따른 농약 사용의 제한’이라는 양면성이 공존하는 시대에 살고 있다. 그동안 수 많은 제초제들이 개발되었고, 이들의 작용기작이 밝혀지

면서 또 다른 제초제의 모태가 되어 작물에 대한 선택성을 제공하는 새로운 기술이 보급되었으며, 이제는 작물에 알맞는 제초제를 선택하여 사용하는 일은 그리 어렵지 않게 되었다. 이러한 여러가지 제초제들 중에서 최근 전 세계적으로 광범위하게 사용되고 있는 sulfonylurea(SU) 및 imidazolinone(IM)계 제초제들은 매우 적은 처리량(g/ha)으로도 광범위한 살초스펙트럼을 가지는 훌륭한 제초제로 알려져 있는

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

** 충남대학교 농과대학(College of Agriculture, Chungnam National University, Taejeon, 305-764, Korea)

<1995. 11. 27 접수>

한편, 인축에 대한 독성도 매우 낮기 때문에 환경조화형 제초제라는 표현을 하고 있다^{1,2,3)}. 최근에는 SU 및 IM계의 구조를 기본골격으로 하여 작물에 대한 선택성 및 살초스펙트럼을 개량한 화합물들이 새롭게 등록되어 시판 중에 있으며, SU 및 IM의 작용점인 ALS를 저해하는 새로운 구조의 화합물들도 개발 중에 있다.

ALS저해제를 처리한 후 처음 관찰되는 증상으로는 생장점 부위 또는 신생엽에서부터 황화현상과 괴사증상이 나타난다는 것이다. 시간이 경과되면서 식물체의 다른 부위로 증상이 확대되며, 엽맥 및 엽맥간에 anthocyanine의 함량이 증가하여 붉은 색으로 된다⁴⁾. 그러나 식물체가 완전히 고사되기까지는 대개 7-10일 정도가 소요되는데, 조건에 따라서는 6-8주가 걸리기도 한다. ALS저해에 의한 살초과정에 대해서는 아직 명확하게 밝혀지지 않았으며, 학자들에 따라 ALS저해제를 처리한 식물 혹은 미생물 등에서 ALS저해 이외에도 DNA 또는 RNA합성의 저해, 세포분열의 저해, anthocyanine의 축적, 독성물질의 축적 등이 생육저해의 원인이 될 수 있다는 견해도 있다.^{5,6,7,8,9,10,11,12,13)}

따라서 확인되지 않은 이러한 여러가지 문제점에 대한 연구를 위하여 본 실험에서는 수경재배를 통하여 SU 및 IM계의 대표적인 약제인 CHL과 IMA를 처리한 옥수수의 생장저해특성을 비교하고자 근단세포에서의 세포분열, 신초의 세포신장 및 뿌리의 ALS활성을 조사하였고, 온실조건에서 CHL 및 IMA의 동시 혼합 처리효과 및 선후 체계 처리효과 등을 통하여 CHL 및 IMA의 옥수수에 대한 저해양식의 차이 및 혼합효과를 생리학적인 측면에서 고찰하였다.

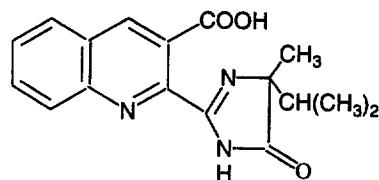
材料 및 方法

1. 옥수수의 생장반응

국립 종자공급소에서 분양받은 옥수수(횡성 옥)종자를 2일간 최아시켜 1/4배액의 MS 배양



2-chloro-N-[(4-methoxy-6-methyl-1,3,5-triazin-2-yl)amino]carboxylbenzenesulfonamide



Imazaquin

2-[4,5-dihydro-4-methyl-4-(1-methyl)-5-oxo-1*H*-imidazol-2-yl]-3-quinoliniccarboxylic acid

Fig. 1. Chemical structures of herbicides used in this study.

액에 파종하고, 제3엽이 전개되는 시점에서 균일한 식물체를 선발하였다. 이들을 제초제가 처리된 배양액으로 옮겨 3시간 간격으로 지상부의 길이를 측정하였다. 약제처리는 CHL과 IMA원제를 용매로 녹인 후 배양액에 첨가하였는데, 용매에 의한 영향은 없었으며, 처리한 약제의 농도는 CHL의 경우 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10μM, IMA의 경우 0.01, 0.1, 1, 10, 100μM이었다. 식물체의 생장량은 8개체 3반복으로 각 개체의 생장을 합하여 총 생장량으로 간주하였다. 본 실험에 사용한 제초제는 한국화학연구소, 제초제실험실에서 합성한 것으로 구조는 그림 1에 나타내었다.

2. 세포분열에 대한 영향

근단 세포분열에 대한 실험은 수경재배한 옥수수의 식물체를 2.5엽기에 선발하여 CHL 1, 10μM, IMA 10, 100μM 처리된 배양액으로 옮겼다. 약제처리 후 3시간 간격으로 옥수수의 근단부 1cm 정도를 절단하여 고정액(무수알콜 : 빙초산(3 : 1))을 사용하여 고정시켰다.

고정시킨 근부를 60°C에서 1N HCl로 30분간 가수분하고, 이 시료를 중류수로 씻어 Schiff's reagent(Fisher scinetific)로 암조건에서 30분간 염색한 후 5%의 pectinase를 8시간 이상 처리하였다. 근단부 1mm를 현미경용 slide glass에 올려 놓고 1~2방울의 40% methanol을 떨어뜨린 후 cover glass로 덮어 으깬 다음 세포분열의 이상유무를 관찰하면서, 분열기에 있는 세포수를 헤아려 1,000개의 세포 중 분열기에 있는 세포수로 환산하고, 이를 세포분열지수(mitotic index)로 표시하였다.

3. 세포신장에 미치는 영향

옥수수의 종자를 25°C 암조건에서 5일간 발아시켜 약 5cm정도 자란 중경 및 자엽초를 0.5cm씩 절단하여, 미리 준비해 둔 0.1, 1, 10, 100μM농도의 CHL과 IMA 용액에 10개체씩 띄워 25°C암조건에서 24시간 배양한 후 증가된 길이를 무처리와 비교하였다.

4. 뿌리의 ALS활성에 미치는 CHL의 영향

100μM의 CHL을 배양액을 통하여 근부에 처리하고, 처리 후 1, 2, 3시간에 뿌리 부분만을 5g씩 채취하여 10ml의 추출용액으로 균질화시킨 후 실험 5에서와 동일한 방법으로 추출하였으며, 컬럼은 1회용 Econo-Pac 10DG(Bio-Rad)를 사용하였다. 처음 3ml은 버리고 활성 부위만을 취하여 조효소액으로 사용하였다. 각 처리별로 정제한 효소 1ml씩을 반응에 사용하였고, 각 처리시간별로 얻은 뿌리의 ALS활성은 생성된 acetoin량을 530nm에서 흡광도를 측정여 조사하였다.

5. ALS의 추출 및 활성측정

ALS는 Shaner¹²⁾ 등의 방법을 약간 변형하여 추출하였다. 추출방법은 식물체의 지상부를 50g씩 수확하여 액체질소로 동결시킨 뒤 막자사발을 이용하여 마쇄하고, 5mM MgCl₂, 10mM sodium pyruvate를 용해시킨 0.1M potassium phosphate완충용액(pH7.5)을 100ml 넣어 균질화시킨 후 1겹의 Miracloth(CalBiochem)로 거른 여액을

15,000×g, 4°C에서 15분간 원심분리하여 상정액을 취하였다. 이 상정액을 ammonium sulfate(25-50%)로 분별 침전시켜 20,000×g, 4°C에서 20분간 원심분리한 후 상정액은 버리고 침전물을 취하였다. 원심분리로 모아진 침전물을 0.1M potassium phosphate 완충용액에 혼탁시켜 동일한 완충용액으로 포화시킨 Sephadex G-25 컬럼을 통과시켰다. 컬럼으로부터 활성부위만을 채취하여 조효소로 사용하였다. 효소활성은 조효소액 1ml에 0.9ml의 반응액(10mM MgCl₂, 10mM sodium pyruvate, 0.1mM thiamine pyrophosphate, 10μM flavine adenine dinucleotide)를 용해시킨 50mM potassium phosphate완충용액(pH7.5)을 첨가하고, 필요시 acetone에 용해시킨 제초제 원제를 반응액 혹은 효소액에 0.1ml씩 처리하여 최종농도가 CHL의 경우 0.01, 0.1, 10μM 그리고 IMA의 경우에는 1, 10, 100μM이 되도록 하였다. 효소의 반응은 반응액을 첨가하면서 개시하였고, 30°C의 수조에서 30분간 반응시킨 후 10N H₂SO₄를 30μl씩 넣어 반응을 종료시켰다. 효소활성은 Westerfeld¹⁴⁾의 방법에 따라 생성된 acetoin양을 다음과 같이 측정하였다. 반응을 종료시킨 시료를 60°C의 항온수조에서 15분간 decarboxylation시키고 0.5%(w/v)의 creatine-용액 0.5ml과 10% NaOH에 용해시킨 5%(w/v)의 1-naphthol용액 0.5ml를 넣고 vortex mixer로 약 10초간 섞은 다음 60°C의 항온수조에서 15분간 발색시켰다. 벌색반응이 끝난 각 시료는 2,860×g에서 3분간 원심분리하여 상정액의 흡광도를 530nm에서 측정하였다. 효소의 활성은 같은 방법으로 작성한 standard curve를 이용하여 단백질 mg당 단위시간에 생성되는 acetoin의 양으로 표시하였다. 단백질의 양은 Bradford¹⁵⁾의 방법에 의해 측정하였다.

6. 약량 반응성 조사

밭토양을 충진시켜 준비한 플라스틱 사각포트(350cm²)에 옥수수 종자를 파종하고 30±5°C의 온실에서 재배하였다. 파종 10일 후 CHL과 IMA원제를 용매(acetone)와 계면활성제(tween 20)로 조제한 유제를 경엽에 분무처리하였다. 약

제 처리량은 4ml/100cm²이었으며, 약제조제시 사용한 용매 및 계면활성제는 옥수수의 생육에 영향을 주지 않는 범위내($\leq 60\%$ acetone)에서 사용하였다. 약량 반응성 조사는 약제처리 농도를 CHL의 경우는 0.5, 1, 2, 4g/ha수준으로, IMA의 경우 2, 4, 8, 16g/ha수준으로 처리하였고, 약제처리 20일 후에 초장과 생체중을 조사하였다.

7. 혼합처리효과

혼합처리는 동시 혼합처리와 선후 체계처리를 하였는데, 동시 혼합처리는 약제 조제시에 두 약제를 혼합 조제하여 처리하였고, 선후 체계처리는 24시간의 간격을 두고 두 약제를 선후 순차처리하였다. 두 약제의 상호작용성은 약제처리 20일 후에 지상부의 생체중을 측정하여 조사하였다. 실험은 3반복으로 하였고, 혼합효과의 해석은 Colby법^[16]에 따라 실험치와 이론치의 상관성을 조사하였다.

結果 및 考察

1. 옥수수의 생장에 미치는 CHL 및 IMA의 영향

옥수수의 생장에 미치는 CHL 및 IMA의 영향을 조사한 결과 CHL은 1μM 처리시 6시간

후부터 생장이 감소하기 시작하였고(표 1), 처리농도가 증가되거나 시간이 경과됨에 따라 그 저해정도는 더욱 크게 나타났다. 그러나 처리농도가 1μM이상으로 증가하여도 생장저해속도는 증가되지 않았다. 한편, IMA의 경우에는 CHL을 처리한 실험에서와 동일한 생장저해효과를 나타내는 데에는 보다 많은 약량과 시간이 요구되었다. 즉, IMA를 100μM농도로 처리하였을 때 36시간 이후부터 저해효과가 나타나 생장저해속도가 CHL의 처리시보다 느렸으며, 생장저해정도 역시 약하게 나타났다(표 2). 이러한 결과로 볼때 CHL이 IMA보다 생장저해활성이 강하거나 옥수수체내로의 흡수 및 이행 속도가 빠른 것으로 생각된다.

식물의 생장은 유사분열에 의한 세포수의 증가와 단위세포의 신장에 의해 이루어진다고 할 수 있다. 그러므로 이들 두 약제가 세포분열과 신장에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 먼저, 옥수수 근단을 이용하여 세포분열에 대한 영향을 조사한 결과 CHL과 IMA은 모두 옥수수 근단의 세포분열을 저해하는 것으로 나타났다(그림 1). 특히 CHL을 1μM과 10μM의 농도로 처리한 경우 3시간 후부터 세포분열지수가 현저하게 감소되었다. IMA의 경우에도 100μM 처리시 9시간 후부터 세포분열지수가 크게 감소되었으나, 10μM 처리에서는 뚜렷한

Table 1. Effect of chlorsulfuron on corn plant growth with time.

| Concentration (μM) | Plant height(cm) | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 ¹ | 3 | 6 | 9 | 12 | 18 | 24 | 36 | 72 | |
| 0 | 1.0 | 1.08 | 1.28 | 1.33 | 1.40 | 1.61 | 1.91 | 2.22 | 2.93 | 3.67 |
| 0.1 | 1.0 | 1.09 | 1.23 | 1.27 | 1.35 | 1.58 | 1.84 | 2.07 | 2.69 | 3.29 |
| 1 | 1.0 | 1.07 | 1.17* | 1.24* | 1.30* | 1.46* | 1.70* | 1.91* | 2.46* | 2.90* |
| 10 | 1.0 | 1.06 | 1.16* | 1.23* | 1.29* | 1.45* | 1.69* | 1.88* | 2.33* | 2.76* |
| 100 | 1.0 | 1.07 | 1.13** | 1.18** | 1.22** | 1.35** | 1.53** | 1.64** | 1.92** | 2.12** |
| LSD _{.05} | NS | 0.088 | 0.084 | 0.086 | 0.123 | 0.204 | 0.236 | 0.35 | 0.491 | |
| LSD _{.01} | | 0.127 | 0.113 | 0.125 | 0.178 | 0.297 | 0.344 | 0.509 | 0.715 | |

NS ; means not significantly different at 0.05 LSD test.

* ; means significantly different at 0.05 LSD test.

** ; means significantly different at 0.01 LSD test.

¹ ; Hours after treatment

Table 2. Effect of imazaquin on corn plant growth with time.

| Concentration (μ M) | Plant height(cm) | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | 0 ¹ | 3 | 6 | 9 | 12 | 18 | 24 | 36 | 48 | 72 |
| 0 | 1.0 | 1.08 | 1.28 | 1.33 | 1.40 | 1.61 | 1.91 | 2.22 | 2.93 | 3.67 |
| 0.1 | 1.0 | 1.16 | 1.23 | 1.33 | 1.41 | 1.66 | 1.95 | 2.26 | 2.97 | 3.74 |
| 1 | 1.0 | 1.06 | 1.20 | 1.28 | 1.35 | 1.53 | 1.79 | 2.04 | 2.61 | 3.18 |
| 10 | 1.0 | 1.07 | 1.20 | 1.29 | 1.35 | 1.53 | 1.79 | 3.11 | 2.71 | 3.27 |
| 100 | 1.0 | 1.09 | 1.22 | 1.28 | 1.33 | 1.50 | 1.69 | 1.89* | 2.22* | 2.56* |
| LSD _{0.05} | NS ¹⁾ | NS | NS | NS | NS | NS | NS | 0.296 | 0.603 | 1.001 |

NS ; means not significantly different at 0.05 LSD test.

* ; means significantly different at 0.05 LSD test.

** ; means significantly different at 0.01 LSD test.

¹ ; Hours after treatment

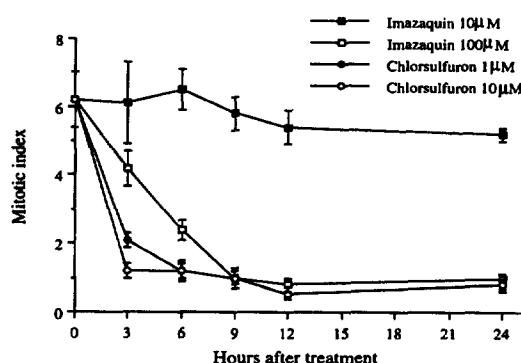


Fig. 2. Mitotic index changes in corn root tips treated with chlorsulfuron and imazaquin.

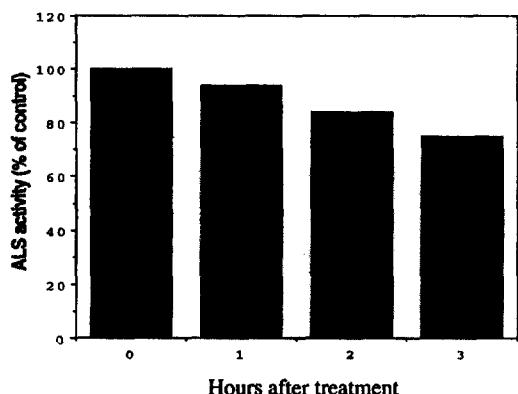


Fig. 4. Inhibition of ALS activity of corn plants treated with 100 μ M chlorsulfuron.

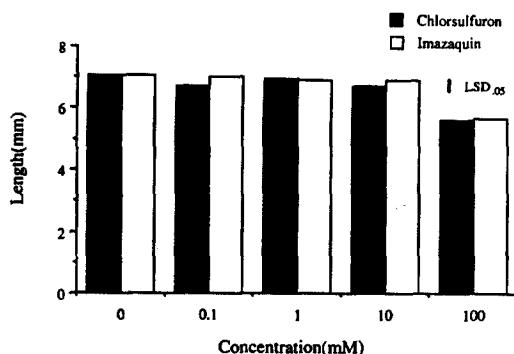


Fig. 3. Effects of chlorsulfuron and imazaquin on cell elongation of corn plants.

감소효과가 나타나지 않았다(그림 2).

처리약제 및 농도에 따른 신장저해효과를 조사한 결과 24시간까지의 관찰에서는 두 약

제에 의한 세포신장저해효과가 나타나지 않았다(그림 3). 그러므로 이들 두 약제처리시 생장저해효과는 세포의 신장억제에 의한 것이라기 보다는 세포분열의 저해가 지배적으로 관여하는 것으로 생각된다.

옥수수 근부에 CHL을 100 μ M의 농도로 처리하였을 때 처리 1시간 후부터 ALS활성이 저해되는 경향을 보였으며, 처리 3시간 후에는 효소활성이 약 20% 감소되었다(그림 4).

Shaner¹¹⁾ 등과 Thomas^{17,18)} 등은 ALS저해제를 처리하면 세포분열이 정지되며 이는 분자아미노산의 결핍이 원인이라고 하였다. 그러므로 이들 약제에 의한 옥수수 근단의 세포분열저해도 ALS활성의 감소로 인하여 분자아미노산

의 생합성이 저해되기 때문인 것으로 생각된다. Rost¹⁹⁾ 등은 대두의 균단세포에 CHL을 처리하면, 균단세포가 세포주기의 G₁과 G₂기가 저해된다고 하였으나, 세가지 분지아미노산이 세포분열의 전 과정중 어느 곳에 특이하게 관여하는 지에 대해서는 정확하게 알려진 바가 없으므로 이 부분에 대한 연구가 더 진행되어야 처리된 식물체내에서 ALS저해 이후의 살초작용을 보다 잘 설명할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 옥수수의 생육에 대한 CHL과 IMA의 상호작용성

CHL과 IMA은 서로 다른 분자구조를 하고 있으나, 모두 분지아미노산의 생합성과정 중 첫번째 단계를 촉매하는 효소인 ALS를 특이하게 저해함으로써 살초작용을 발현한다고 알려져 있다. 그러므로 이들 두 약제를 혼합 및 세계 처리를 하였을 경우 나타날 수 있는 흡수 및 이행, 그리고 ALS에 대한 두 약제의 상호작용성을 알아보기 위하여 두 약제를 몇 가지 농도로 조합처리하고 이에 대한 결과는 생체중과 지상부의 초장을 조사하여 나타내었다. 먼저 적합한 두 약제의 농도조합을 찾기 위하여 실시한 예비실험으로 CHL 및 IMA의 농도 반응성을 조사한 결과, 파종 10일 후 경엽처리에서 0.5g/ha의 CHL 처리량에서부터 옥수수의 생육저해가 나타나기 시작하였고, 4g/ha이상의 처리량에서는 완전히 고사되었다. 한편, IMA 처리의 경우에는 1g/ha의 처리량에서부터 생육이 저해되기 시작하여 16g/ha이상의 처리량에서는 완전히 고사되었다²⁰⁾. 두 약제에 의한 50%생육저해 농도는 각각 2g/ha, 8g/ha 내외이었으므로 GI₅₀값을 기준으로 하여 CHL의 경우는 0.5, 1, 2, 4g/ha, IMA는 1, 2, 4, 8g/ha을 선별하여 이들간의 조합처리를 통하여 상호작용성을 조사하였다.

두 약제를 동시에 처리한 뒤 옥수수의 생체중과 지상부의 초장을 측정하여 본 결과 실험치와 관측치 간에 약간의 차이는 있었지만, 두 약제 간의 상호작용성은 대체로 상가적인 효

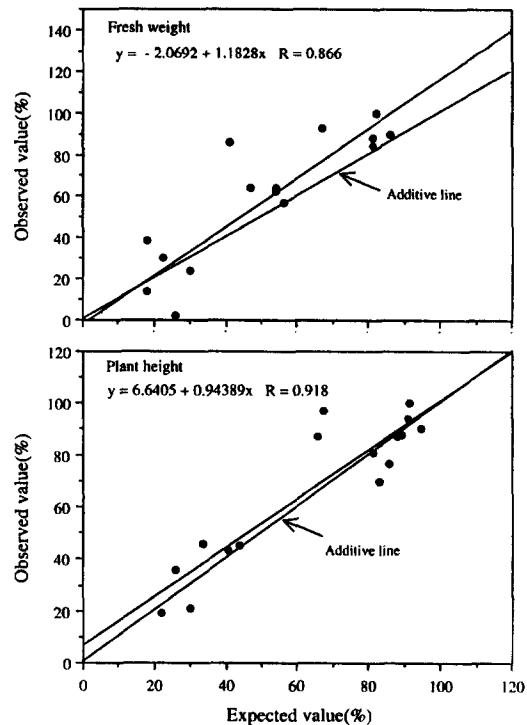


Fig. 5. Relationship between observed value and expected value from Colby's method. Chlorsulfuron and imazaquin were applied to corn plants simultaneously.

과를 나타내었다(그림 5). 동시 혼합처리시 발생할 수 있는 화합물 상호간의 반응 및 흡수, 이행에 대한 상호작용성을 배제하기 위하여 24시간 간격으로 두 약제를 선후 체계처리를 한 후 이들의 생체중을 조사하여 실험치와 관측치간의 상호관련성을 조사하여 본 결과 CHL이나 IMA의 두 약제 중 어떠한 약제가 먼저 처리되더라도 이들의 혼합효과는 동시처리의 경우보다 상승적인 효과가 있었다(그림 6). 이러한 실험결과로 미루어 이들 두 약제의 온실실험에서의 효과는 독립적으로 작용한다고 할 수 있으며, 혼합처리하였을 경우에는 화합물간의 반응이나 식물체내로의 이행 및 흡수 등이 그다지 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. 또한, 24시간을 두고 순차 처리하였을 때의 상승적인 결과는 이들 두 약제가 상호보완적으로 작용한 결과라고 생각된다. 이들 두 약제의 생육에 대한 상호작용성과 이들

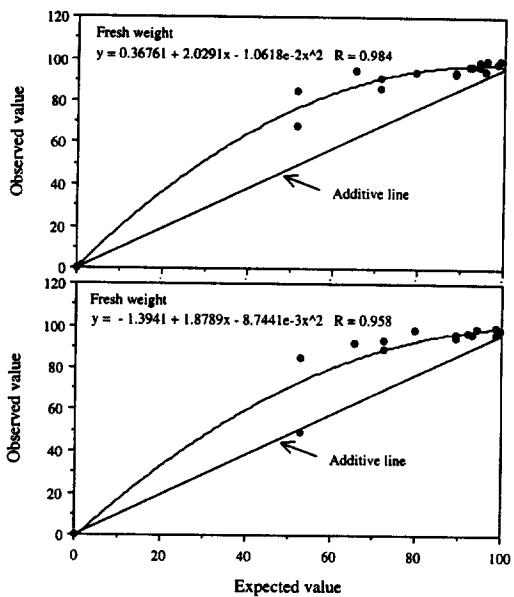


Fig. 6. Relationship between observed value and expected value from Colby's method. Chlorsulfuron and imazaquin were applied to corn plants simultaneously ; (A)chlorsulfuron followed by imazaquin, (B)imazaquin followed by chlorsulfuron.

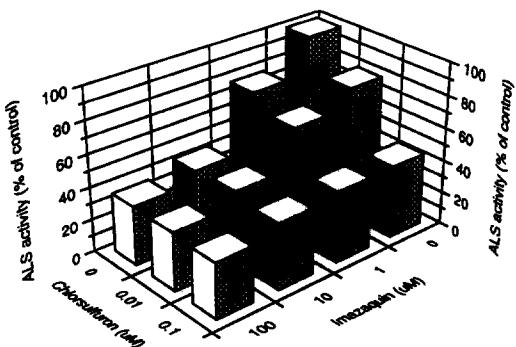


Fig. 7. Interaction between chlorsulfuron and imazaquin in ALS activity of corn plants.

약제의 작용부위인 ALS에 대한 상호작용성과의 관련성을 알아보기 위하여 지상부에서 추출한 ALS에 CHL 0.01, 0.1, 1 μ M과 IMA 1, 10, 100 μ M을 상호조합처리하여 ALS활성을 조사하여 본 결과 동시처리한 풋트실험에서와 유사한 결과를 얻었다(그림 7). 두 약제의 농도조합이 저농도일 때에는 어느 정도 상가적인 결과를 보였으나, 고농도의 조합처리에서는 뚜렷

한 상호관련성을 찾을 수 없었다. 두 약제의 상호 작용성은 온실실험에서의 결과와 ALS에 대한 실험결과가 거의 일치하는 경향이었으며, ALS의 저해가 생육저해의 일차적인 원인으로 작용하는 것으로 생각되었다.

概 要

Chlorsulfuron 및 imazaquin의 옥수수에 대한 저해양상의 차이 및 혼합효과를 생리학적인 측면에서 조사한 결과,

1. 수경재배시 배양액에 약제를 처리하였을 경우 CHL은 약제처리 6시간 후부터 생장저해 증상이 관측되었으나, IMA의 경우에는 36시간 이후에 관측되었고, 처리농도가 증가되면 생장저해증상의 발현 속도가 증대되었다.
2. 세포분열은 CHL의 경우 약제처리 3시간 후부터 저해되기 시작하였으나, IMA의 경우에는 세포분열의 저해율과 저해속도가 모두 낮았다.
3. CHL 및 IMA에 의한 세포신장에 대한 영향은 나타나지 않았다.
4. 근부의 ALS에 대한 영향은 세포분열의 저해시간보다 빠른 CHL의 처리 1시간 이후부터 저해되었다.
5. CHL과 IMA을 경엽에 동시에 혼합처리를 하면 생장저해효과가 상가적으로 나타났으나, 상호 순차적 체계처리는 상승적인 효과를 나타내었다.
6. ALS에 대한 *in vitro*실험에서도 두 약제의 동시처리시 상가적인 효과가 발현되었다.

引 用 文 獻

1. Caroline, S. 1991. Sulfonylurea herbicides. PJB Publications. Richmond, VA. pp.51-60.
2. Shaner, D.L. 1991. The imidazolinone herbicides. CRC Press. Boca Raton, FL. pp.71-90.
3. 武田俊司. 1987. スルホニウレア系除草剤の第一次作用點と選択性機構. 日本農薬學會誌.

- 12 : 759-768.
4. Jörg, D. and G. Valérie. 1991. New aspects on inhibition of plant acetolactate synthase by chlorsulfuron and imazaquin. *Plant Physiol.* 95 : 1144-1150
 5. Epplebaum, 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, H. Shannon (eds.) *Biosynthesis and Molecular Regulation of Amino Acids in Plants*. pp. 352-353. Amer. Soc. Plant Physiol., Rockville, MD.
 6. Mu hitch, M.J. and D.L. Shaner. 1987. Imidazolinones and acetohydroxyacid synthase from higher plants. *Plant Physiol.* 83 : 451-456.
 7. 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.
 8. Miflin, 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.
 9. Pillmor, J.B. and J.C. Caseley. 1987. The Biochemical and physiological effects and mode of action of AC 222,293 against *Aloppecurus myosuroides* Huds. and *Avena fatua* L. *Pestic. Biochem. Physiol.* 27 : 340-349.
 10. Primerano, D.A. and R.O. Burns. 1982. Metabolic basis for the isoleucine, pantothenate or methionine requirement of *ilvG* strains of *Salmonella typhimurium*. *J. Bacteriol.* 150 : 1201-1211.
 11. Ray, T.B. 1980. Studies on the mode of action of DPX-4189. *Proc. Brit. Crop Protec. Conf.* 1 : 7-14.
 12. Shaner, D.L. 1986. Physiological responses of corn(*Zea may*) to AC 243,977 in combination with valine, leucine, and isoleucine. *Pestic. Biochem. Physiol.* 25 : 248-257.
 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. Stidham, M.A. and D.L. Shaner. 1990. Imidazolinone inhibition of acetohydroxyacid synthase *in vitro* and *in vivo*. *Pestic. Sci.* 29 : 335-340.
 15. Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of proteindye binding. *Anal. Biochem.* 72 : 248-254.
 16. Colby, S.R. and G.F. Warren. 1963. Herbicide combination enhances selectivity. *Science* 147-362.
 17. Singh, B.K. and M.A. Stidham. 1988. Separation and characterization of two forms of acetohydroxy acid synthase from black mexican sweet corn cells. *J. Chromat.* 444 : 251-261.
 18. Stidham, M.A. 1991. Herbicides that inhibit acetohydroxyacid synthase. *Weed Sci.* 39 : 428-434.
 19. Rost, T.L. 1984. The comparative cell cycle and metabolic effects of chemical treatments on root tip meristems. III. Chlorsulfuron. *J. Plant Growth Regul.* 3 : 51-63.
 20. 황인택 · 홍경식 · 조평연 1995. Sulfonylurea 및 imidazolinone계 제초제의 살초작용과 acetolactate synthase활성 억제작용. *한잡초지* 15(1) : 54-62.0