

쇠비름(*Portulaca oleracea*)의 병원균,
*Drechslera portulacae*가 생산하는 식물독소의 구조 동정

제 1 보. Methyl-dihydroxyzearalenone의 단리 및 제초활성
김건우 · 조광연*

Identification of Phytotoxins Produced by *Drechslera portulacae*, a Pathogen of Purslane (*Portulaca oleracea*)

I. Isolation of Methyl-dihydroxyzearalenone and Its Herbicidal Activity
Kim, K.W. and K.Y. Cho*

ABSTRACT

A zearalenone derivative, methyl-dihydroxyzearalenone has been isolated from a plant pathogenic fungus, *Drechslera portulacae* which causes necrosis on the leaves and stem of *Portulaca oleracea*. It was characterized as 3, 4, 5, 6, 9, 10-hexahydro-8, 9, 16-trihydroxy-14-methoxy-3-methyl-1H-2-benzoxacyclotetradecine-1, 7(8H)-dione on the basis of spectral analysis. Methyl-dihydroxyzearalenone treatment at $3 \times 10^{-5}M$ inhibited root length of *Echinochloa crus-galli* and *Abutilon avicennae* by 35.7% and 72.6% as compared with the control, respectively.

Key words : Methyl-dihydroxyzearalenone, phytotoxin, *Drechslera portulacae*, *Portulaca oleracea*, 3, 4, 5, 6, 9, 10-hexahydro-8, 9, 16-trihydroxy-14-methoxy-3-methyl-1H-2-benzoxacyclotetradecine-1, 7(8H)-dione

緒 言

식물병원균은 기주식물에 대해서 다양한 병징을 발현하는 식물독소를 생산하는 경우가 많으며, 이러한 식물독소에 대한 연구의 의의는 병원균의 기주에 따라 상이하다. 즉, 재배식물을 기주로 하는 병원균에서의 식물독소는 식물병리학적인 해석수단으로서 취급되는 식물방역상의 문제에 속하지만, 잡초를 기주로 하는 병원균이 생산하는 식물독소는 잡초방제에 이용하려는 관점에서 연구되어 지고 있다.^{2,7,13)}

한편, 식물병원균에 의한 병징의 발현에 식물독소와 같은 화학물질들이 관련되어 있는 경우에는 이들 작용기작의 연구를 통해 식물대사과정에 관한 새로운 사실의 획득 가능성이 높다. 잡초병원균은 이러한 식물생리활성물질(식물독소)^{3,8,11)} 뿐만 아니라 유용한 생물적 방제를 위한 생물제제를 제공¹⁰⁾한다는 점에서 그 연구의 중요성이 인정되고 있다.

최근 국제적으로 환경에 대한 문제의식은 날로 높아가고 있어 천연물 유래의 신 농약의 개발이 요구되는 시점에 있다. 식물독소를 이용한 농약 및 이를 모핵구조로 한 미생물 유래의 신 농약의

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

(1994. 9. 5 접수)

개발은 이미 새로운 현상이 아니며, 실제로 미생물 발효산물로부터 제조제 bialaphos가 개발¹⁴⁾된 바도 있다.

본 연구에서는 세계적으로 널리 분포하는 유해발잡초인 쇠비름(*Portulaca oleraceae* L.)의 잎 및 줄기에 흑갈색의 병반을 형성하는 *Drechslera portulacae* (Rader) De Hoog & Van Oorschot가 유발시키는 병징⁹⁾의 발현에 관련된 활성본체를 구명함과 동시에 그 이용가능성을 알아보기 위해 제조활성을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 쇠비름에 대한 *D. portulacae*의 접종

*D. portulacae*의 쇠비름에 대한 병원성을 확인하기 위하여 파종 후 1개월 쯤의 식물체를 항습접종상에 넣고 접종원으로서 포자현탁액을 hand spray로 산포한 후 25°C, 연속광하에 두고 경시적으로 관찰하였다. 포자현탁액에 대해서는 배양액을 4중 cheesecloth로 여과하여 얻어진 균사체를 증류수로 세정한 다음, 균사체의 교반에 의해 얻어진 상징액을 취하여 사용하였다.

2. 생물검정

배양액 중의 식물독소의 존재를 확인하기 위해 녹두(*Phaseolus aureus* Roxb.)와 쇠비름의 상배축을 사용하였다. 녹두는 vermiculite에 파종 후 26~28°C, 온실에서 1주간, 쇠비름은 3주간 생육시켜 하배축을 절단한 다음 7ml의 배양액을 넣어 둔 vial내에 담그어 28°C, 연속광하에서 3~4일간¹¹⁾ 두면서 식물체의 반응을 관찰하였다.

병원성의 발현에 관련된 식물독소의 추구를 위한 검정법으로써, 가는 바늘로 작은 구멍을 낸 쇠비름 잎(5개)을 직경 5cm petri dish상의 시료용액(2ml)에 침지하여 25°C, 연속광하에서 2~4일간 유지한 후, 병징과 동일한 현상의 유무 및 병반의 크기를 지표로 삼아 활성을 판정했다.

3. 배양 및 추출

*D. portulacae*는 이미 보고된 방법⁶⁾에 따라 PDB(potato dextrose broth)배지 상에서 진탕배양되었으며, 3주 후 수확한 배양액(5l)을 4중의

cheesecloth로 여과하였다. 배양여액 1l당 500ml의 ethyl acetate로 3회 추출한 다음 ethyl acetate층을 취하였다. 이 ethyl acetate 분획에 무수Na₂SO₄를 가하여 탈수, 여과 후 여액을 감압하 40°C에서 농축·건고하여 고체와 유상의 갈색 혼합물 약 300mg을 얻었다.

4. 단리 및 정제

조추출물을 소량의 ethanol을 포함한 냉hexane으로 세정하여 약 240mg의 유상성분과 약 60mg의 고체성분이 분리되었으며 생물검정한 결과, 고체성분쪽에서 높은 활성이 인정되었다.

상기의 고체 60mg을 CHCl₃-MeOH(10:1)의 용매계를 사용한 silica gel flash column chromatography(silica gel 60, 230-400 mesh, 250×10mm)에 의해 10ml/씩 분획한 결과, 개 4~제 6분획에서 활성이 나타났다. 이들 분획을 농축한 후, methanol에서 재결정하여 최종적으로 무색침상의 결정상태로서 14.8 mg의 화합물 1(그림 1)이 얻어졌다.

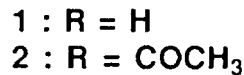
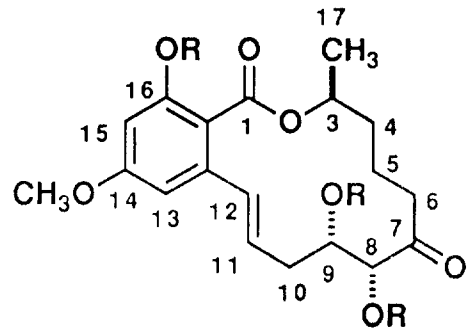


Fig. 1. Structure of compounds 1 and 2.

한편, 유상성분 240mg에 대해서는 TLC분석에서 화합물 1과 거동이 유사한 성분이 복수 존재하였으므로 CHCl₃-MeOH(9:1)의 용매계를 사용한 silica gel flash column chromatography(silica gel 60, 230-400 mesh, 250×10mm), CHCl₃-MeOH(10:1) 또는 toluene-EtOAc

(1 : 3)의 용매계를 사용한 분취TLC (silica gel 60, 0.5mm thickness, 200×200mm) 및 methanol을 사용한 gel filtration (Sephadex LH-20, 600×10mm)을 순차적으로 행하여 단리·정제하였다. 그 결과, 얻어진 약 59mg의 고체는 ¹H-NMR spectrum의 해석에 의해 화합물 1로 확인되었다.

화합물 1의 TLC상의 R_f치는 CHCl₃-MeOH (9 : 1)에서 전개하여 결정하였다. 순도의 분석은 유속 2ml/min (80kg/cm³)의 MeOH-H₂O (8 : 2)을 ODS Column (7μm, RP-18, E. Merck, 250×10mm)에 적용시킨 HPLC로 행하였으며, peak의 검출 및 R_f치의 결정에는 photodiode array detector (200-360nm)를 사용하였다.

5. 아세틸화

화합물 1 (9.2mg)을 pyridine (200μl)에 녹인 후 무수초산 (2μl)을 가하여 하루밤 동안 실온에서 방치한 다음, 반응혼합물에 냉증류수 (1ml)를 붓고 ethyl acetate (0.5ml×3회)로 추출하였다. 혼합된 유기층을 취하여 5% 염산수, 증류수, 포화식염수, 증류수로 차례로 세정하고 MgSO₄로 건조시켜 여과한 다음, 여액을 감압하에서 농축·건고하였다. 그리고 toluene-EtOAc (1 : 1)의 용매계를 사용한 silica gel column chromatography에 의하여 화합물 1의 acetate 6.1mg (그림 1)을 단리하였다.

6. 기기분석

NMR spectra는 JEOL JNM GX-400 (¹H : 400MHz, ¹³C : 100MHz)과 JNM GX-500 (¹H : 500MHz, ¹³C : 125MHz)에 의해 CDCl₃ 중에서 측정되었으며, chemical shift는 내부표준인 TMS (tetramethylsilane)를 기준으로 하여 δ (ppm)으로 나타내었다.

EIMS (electron impact mass spectrography)는 Finnigan MAT INCOS 50, 고분해능질량분석기는 HITACHI M-80의 사용에 의해 측정하였다. 그리고 융점은 柳本社용점 측정기를, UV 흡수 spectrum은 HITACHI spectrophotometer 220A를, 선광도는 Perkin Elmer Model MC241을 사용하여 얻어졌다.

7. 제초활성검정

시료를 소량의 methanol에 용해시켜 최종적으로 동일용량의 용매가 처리될 수 있도록 농도에 따라 methanol로 희석한 다음, 조제된 시료액으로 미리 petri dish (φ 9cm) 안에 깔아둔 2매의 여지 (Whatman No.2) 전면을 고르게 적시게 하였다. 그리고 chemical fume hood내에서 여지에 포함되어 있는 methanol을 제거하여 petri dish당 5ml의 증류수를 부은 후, 시험초종으로 택한 식용피 (*Echinochloa crus-galli* P. B. var. *formosensis* OHWI)와 어저귀 (*Abutilon avicennae* GAERTN.)의 종자를 각각 10립, 6립씩 파종하였다. 치상기간 중 petri dish내 수분함량의 유지를 위해 sealing film으로 밀봉하여 25°C, 14/10시간 광주기의 growth chamber내에 두고 8일간 생육시킨 후, 유묘의 초장과 근장을 측정하였다.

결과 및 고찰

1. *D. portulacae*의 병원성 및 식물독소의 생산 확인

*D. portulacae*의 포자현탁액을 산포한 결과, 보고⁹⁾된 바와 같이 처리 후 1일째에 쇠비름의 잎과 줄기에 흑갈색의 병반이 나타났으며 2일째에는 엽병조직의 괴사에 의한 잎의 탈리현상이 관찰되어 그 병원성이 인정되었다 (그림 2).

*D. portulacae*의 배양액 중에서 식물독소의 존재를 확인하기 위해 녹두와 쇠비름의 상배축을 사용하여 생물검정한 결과, 녹두 유묘엽에 적갈색 반점의 형성 및 위조현상이, 쇠비름에서는 신엽부의 흑갈변 및 엽병의 괴사·탈리가 관찰되었다. 상기 시험에 의해 *D. portulacae*의 배양액 중에 식물독소가 존재하는 것이 시사되어 그 활성분체의 정제·단리를 시도하였다.

2. 구조 분석

배양여액에 포함된 활성성분은 ethyl acetate로 추출하였으며, 조추출물을 silica gel flash column chromatography, 분취TLC 및 gel filtration chromatography를 순차적으로 행하여 배양액 1/당 14.8mg의 화합물 1을 단리하였다.



Fig. 2. Necrotic symptoms produced on the leaves of intact purslane plant 2 days after inoculation of spore suspension of *D. portulacae*.

순도분석을 위한 HPLC 분석의 결과 화합물 1의 R_f 은 12.6min이었으며, TLC상의 R_f 치는 0.42로, 융점은 154-156°C로, 선광도는 $[\alpha]_D^{20} -81^\circ$ (MeOH; c 0.60)로, 또한 UV spectrum에 있어서는 UV λ_{max}^{MeOH} nm(ϵ): 234(31000), 272(12000), 312(6200)로 나타났다.

화합물 1의 EIMS에서 $[M]^+$ 이 m/z 364이었으며, 고분해능MS에 의해 분자식 $C_{19}H_{24}O_7$ 이 유도되었다.

$CDCl_3$ - CD_3OH (9:1) 중에서 측정된 ^{13}C NMR spectrum으로부터 1개의 methyl탄소(δ 20.6), 1개의 methoxy탄소(δ 55.3), 4개의 methylene탄소(δ 37.4, 36.9, 36.9, 34.7) 및 3개의 산소에 결합된 탄소(δ 81.0, 73.6, 73.4), 2개의 olefin탄소(δ 132.7, 130.4) 및 방향족 유래의 6개의 탄소(δ 165.5, 163.1, 146.9, 108.3, 108.0, 100.5)의 signal이 관측되었다. 그리고 δ 171.2와 δ 199.3의 위치에 나타난 signal은 각각 1개의 ester carbonyl탄소와 1개의 keto carbonyl탄소로 귀속되었다.

화합물 1에 존재하는 hydroxy기의 존재를 확인하기 위하여 pyridine과 무수초산으로 아세틸화하여 화합물 1의 triacetate유도체 2(그림 1)를 얻었다. 화합물 2의 2차원 1H - 1H COSY

spectrum의 해석에 의해 각 proton들의 signal이 귀속되었다. C-8, C-9, C-16상의 3개의 acethyl methyl proton들은 각각 δ 2.07, δ 2.08, δ 2.26에서 관측되었다. δ 6.04(H-11)와 δ 6.63(H-12)의 olefin proton들은 $J=15.8$ Hz의 coupling constant를 나타내어 H-11과 H-12는 trans위치 관계에 있다고 생각되었다. 관측되어진 cross peak들은 H-12의 olefin에서 H-11의 olefin으로, H-10의 2개의 methylene proton(δ 2.52, 2.57)으로부터 H-9의 methine(δ 5.48)으로, 그리고 H-8의 methine(δ 5.53) proton까지의 결합관계를 보여 주었다. 상기 cross peak들의 해석에 의해 화합물 2의 부분구조로서, $CH=CH-CH_2-CH(O)-CH(O)-C=O$ 를 추정할 수 있었다. 또한, 다른 cross peak들의 관측에 의해 methyl doublet(H-17, δ 1.34)-methine(H-3, δ 5.21)-methylene(H-4, δ 1.60/1.80)-methylene(H-5, δ 1.60/1.80)-methylene(H-6, δ 2.50/2.60) proton들의 연결을 확인하였다. 따라서 화합물 2의 또 하나의 부분구조, $CH_3-CH(O)-CH_2-CH_2-CH_2-C=O$ 를 알 수 있었다. 방향족의 2개의 proton(δ 6.59, 6.81)은 coupling constant가 2.64Hz로 meta위치에 존재하는 것으로 인정되었다. 이와 같은 결과로부터 화합물 2는 zearalenone¹⁵⁾의 유연체인 것으로 추정하기에 이르렀다. 화합물 2의 NMR 귀속은 화합물 1의 1H - 1H COSY의 해석에 의거하여 행하였다. 화합물 1의 탄소signal은 ^{13}C - 1H COSY와 COLOC(Longrange ^{13}C - 1H COSY) 실험에 의해 귀속되었다. 이들의 귀속결과와 결합관계는 olefin(H-12, δ 7.05)(C-12, δ 132.7)-olefin(H-11, δ 5.95)(C-11, δ 130.4)-methylene(H-10, δ 2.20/2.56)(C-10, δ 36.9)-methine(H-9, δ 4.09)(C-9, δ 73.4)-methine(H-8, δ 4.37)(C-8, δ 81.0) proton으로 나타났다. 또 다른 cross peak들의 해석 결과, methyl doublet(H-17, δ 1.41)(C-17, δ 20.6)-methine(H-3, δ 5.13)(C-3, δ 73.7)-methylene(H-4, δ 1.75)(C-4, δ 34.7)-methylene(H-5, δ 1.77/1.86)(C-5, δ 37.4)-methylene(H-6, δ 2.43/2.80)(C-6, δ 36.9) proton들과 같은 결합관계를 확인할 수 있었다. 2개의 방향족 proton, δ 6.42(H-13)(C-13, δ 108.0) 및 δ 6.41(H-15)(C-15, δ 100.5)은 $J=2.7$ Hz의 coupling

constant를 보여주어 양자가 meta위치에 존재함을 알게 되었다. 그리고 δ 3.82(C : 55.3) 및 δ 12.04(C : 165.0)에서 관측된 signal은 각각 methoxy methyl 및 phenol의 proton에 유래한 것으로 확인되었다. 화합물 1과 2의 NMR spectra의 귀속 결과를 표 1에 나타내었다. 이상과 같은 NMR 귀속결과로부터 화합물 1의 화학구조(그림 1)를 3, 4, 5, 6, 9, 10-hexahydro-8, 9, 16-trihydroxy-14-methoxy-3-methyl-1H-2-benzoxacyclotetradecin-1, 7(8H)-dione으로서 동정하였다. 이 화합물은 bis-p-chlorobenzoate유도체를 이용한 X선결정 해석에 의하여 그 구조가 알려진 바 있으며⁴⁾, 화합물 1과 zearalenone(그림 3)의 구조적 관련성을 고려하여 methyl-dihydroxyzearelenone이라고 하였다.

3. 활성본체의 확인

*D. portulacae*의 배양액 중에서 단리된 화합물 1이 기주인 쇠비름에 대해서 원래의 병원성과

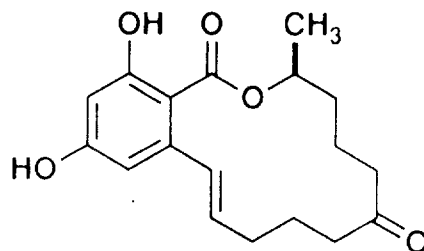


Fig. 3. Structure of zearalenone.

동일한 증상을 유발시키는 식물독소로서의 활성을 갖고 있는지 확인하기 위하여 작은 구멍을 뚫은 쇠비름 잎을 농도별로 조제된 시료용액에 침지하였다. 그 결과, 쇠비름의 잎에서 10^{-6} M부터 10^{-5} M에 걸쳐 흑갈색의 괴저조직이 발달되는 것을 관찰할 수 있었다. 그림 4는 1.4×10^{-5} M에서 유발된 엽조직의 괴사를 나타낸 것이다. 화합물 1의 처리 후 나타난 생리활성은 *D. portulacae*의 포자현탁액의 접종처리에 의해 유발된 병징(그림 2)과 극히 유사한 것을 알 수가 있다. 따

Table 1. Comparative ^1H and ^{13}C NMR data of compounds 1 and 2.

Number	Compound 1		Compound 2 (acetate of 1)
	$^1\text{H}^a$	^{13}C	^1H
1	-	171.2(s)	-
3	5.13 ^b (m)	73.6(d)	5.21(m)
4	1.75(m)	34.7(t)	1.60(m), 1.80(m)
5	1.77(m), 1.86(m)	37.4(t)	1.60(m), 1.80(m)
6	2.43(m), 2.80(m)	36.9(t)	2.50(m), 2.60(m)
7	-	199.3(s)	-
8	4.37(d ; 1.35)	81.0(d)	5.53(d ; 3.30)
9	4.09(m)	73.4(d)	5.48(m)
10	2.20(m), 2.56(m)	36.9(t)	2.52(m), 2.57(m)
11	5.95(ddd ; 3.36, 11.42, 15.46) ^c	130.4(d)	6.04(ddd ; 5.95, 7.93, 15.85)
12	7.05(d ; 15.46)	132.7(d)	6.63(d ; 15.85)
12a	-	146.9(s)	-
13	6.42(d ; 2.68)	108.0(s)	6.59(d ; 2.64)
14	-	164.1(s)	-
15	6.41(d ; 2.68)	100.5(d)	6.81(d ; 2.64)
16	-	165.5(s)	-
16a	-	108.3(s)	-
17	1.41(d ; 6.05)	20.6(q)	1.34(d ; 6.60)
Phenol	12.04(s)	-	-
Methoxy	3.82(s)	55.3(q)	3.82(s)
Acetyl	-	-	2.07(s), 2.08(s), 2.26(s)

a : ^1H and ^{13}C NMR data were recorded in CDCl_3 and $\text{CDCl}_3/\text{CD}_3\text{OD}$ (9 : 1), respectively.

b : Chemical shifts are expressed in δ (ppm) from TMS as internal standard.

c : Multiplicity and coupling constant (in Herz).

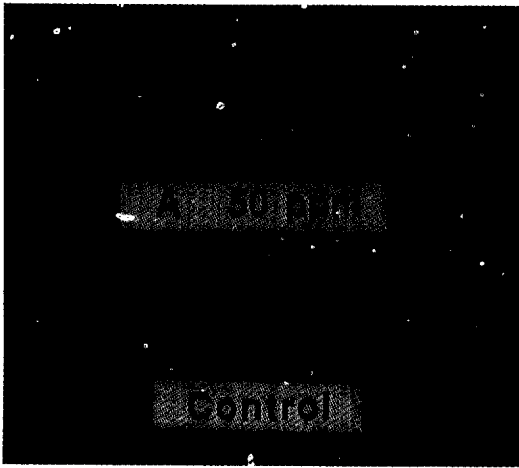


Fig. 4. Necrotic lesions produced on the detached leaves of purslane treated with methyl-dihydroxyzearealenone by dipping method.

라서, 화합물 1이 *D. portulacae*가 생산하는 쇠비름에 대한 병원성 물질의 하나일 것이라고 사료된다.

4. 제초활성

화합물 1이 쇠비름 조직상의 피사를 가져오는 식물독소이라는 사실이 밝혀져 다른 잡초종에 있어서도 과연 식물독소로서의 활성을 보이는지를 확인하여 볼 필요성이 대두되었으므로, 화분과 및 광엽잡초 중에서 각각 1초종씩 택하여 화합물 1을 $10^{-5}M$, $3 \times 10^{-5}M$, $10^{-4}M$ 및 $3 \times 10^{-4}M$ 의 농도로 조제, 처리하였다. 그 결과, 시험초종의 초장에 대해서는 식용피의 경우(그림 5) 억제효과가 인정되지 않았으나 어저귀(그림 6)에서는 $10^{-4}M$ 처리시 대조구에 비해 65.9%의 억제를 보였다. 한편, 근장에 있어서는 2초종에서 모두 화합물 1에 의한 유묘의 근생장의 억제가 확인되었다. 식용피의 유근은 $3 \times 10^{-5}M$ 에서 35.7%, $3 \times 10^{-4}M$ 에서 91.3%의 성장억제를 나타냈으나 어저귀의 유근에서는 $3 \times 10^{-5}M$ 처리구가 72.6%, $3 \times 10^{-4}M$ 처리구가 100%로써, 식용피보다 어저귀쪽에서 화합물 1의 활성이 높게 나타났다.

이상의 연구 결과를 종합하여 보면, 먼저 식물 병원균 *D. portulacae*가 쇠비름의 잎과 줄기의 조직을 피사시키는 식물독소를 생산한다는 사실을 확인하고 이 병징을 발현하는 식물독소의 정

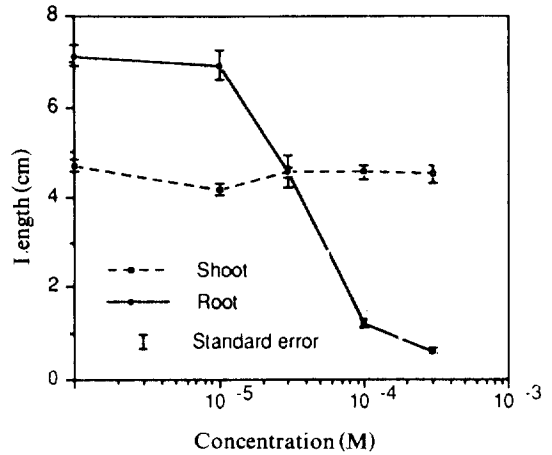


Fig. 5. Effects of methyl-dihydroxyzearealenone on the growth of *Echinochloa crus-galli*.

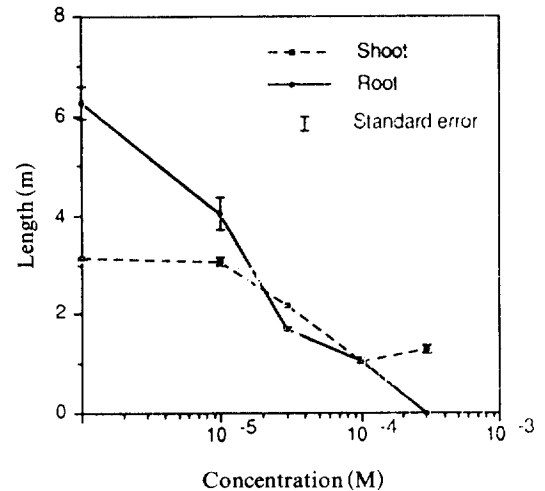


Fig. 6. Effects of methyl-dihydroxyzearealenone on the growth *Abutilon avicennae*.

제·단리를 시도하여 배양여액으로부터 1종의 macrolide를 단리하였다. 각종 spectra의 해석에 의해 화합물 1의 화학구조를 해명한 결과, *Fusarium* 속의 사상균에게서 발견되는 mycotoxin인 zearealenone의 유도체인 것으로 밝혀졌으며, 화합물 1(methyl-dihydroxyzearealenone)이 $10^{-5}M$ 의 농도에서 쇠비름의 잎에 흑갈색의 피사반을 형성한 것은 어떤 형태로든 *D. portulacae*의 병원성 발현에 관여하고 있다는 것을 의미한다. Methyl-dihydroxyzearealenone은 LL-Z1640-1로 보고된 바 있는 물질이지만 식물병원균으

로부터 단리되어진 예는 없으며 식물에 관한 독성에 대해 연구된 예도 없다.⁵⁾ 화합물 1이 mycotoxin인 zearalenone과는 전혀 다른 식물생리활성을 지표로 하여 발견되었지만 zearalenone 처럼 동물독소로서의 활성¹²⁾을 가질 것인지는 아직 불명인 상태에 있다. 그러나 식용피와 어저귀에 대해서도 식물독소로서의 활성을 지니고 있다는 점은 여전히 흥미로운 현상이며 잡초병원균이 생산하는 식물독소의 잡초방제에의 이용이라는 측면에서도 합성화학자들의 검토가 기대되어진다. 그리고 식물생리활성물질로서 식물체내에서의 역할의 구명에 대해서도 추후 연구되어야 할 과제로 남아있다.

적 요

잡초병원균 *Drechslera portulacae*는 기주식물인 쇠비름(*Portulaca oleracea*)에만 병징을 발현하는 식물독소를 생산한다는 사실을 발견하여 병원성에 관여하는 물질을 *D. portulacae*의 배양여액 중에서 정제·단리한 후 기기분석한 결과, 그 화학구조를 methyl-dihydroxyzearalenone으로 동정하였다. 또한, methyl-dihydroxyzearalenone의 제조활성은 시험초종인 식용피(*E. crus-gall*) 및 어저귀(*A. avicennae*)를 대상으로 조사되었다. 그 결과, 식용피 유묘의 초장에 대한 억제효과는 나타나지 않았으며 근생장에 있어서 $3 \times 10^{-5}M$ 처리시 대조구에 비해 35.7%의 억제를 보였다. 한편, 어저귀에서는 유묘의 초장 및 근장에 대한 억제효과가 인정되었으며 그 정도는 유근에서 심하여 $3 \times 10^{-5}M$ 처리구에서 근생장을 72.6% 억제시켰다. Methyl-dihydroxyzearalenone의 제조활성은 식용피보다 어저귀에서 높게 나타났다.

인 용 문 헌

1. Curtis, R.W. 1976. A mung bean assay for malformin-induced growth stimulation. *Plant Physiol.* 57 : 365-368.
2. Cutler, H.G. 1988. Perspectives on discovery of microbial phytotoxins with herbicidal activity. *Weed Tech.* 2 : 525-532.
3. Duke, S.O. and J. Lyndon. 1987. Herbicides from natural compounds. *Weed Tech.* 1 : 122-128.
4. Ellestad, G.A., F.M. Lovell, N.A. Perkinson, R.T. Hargreaves, and W.J. McGahren. 1978. New zearalenone related macrolides and isocoumarins from an unidentified fungus. *J. Org. Chem.* 43 : 2339-2343.
5. Franck, B. 1984. Mycotoxins from mold fungi-weapons of uninvited fellow-boarders of man and animal : structures, biological activity, biosynthesis, and precautions. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 23 : 493-505.
6. Hradil, C.M., Y.F. Hallock, J. Clardy, D.S. Kenfield, and G. Strobel. 1989. Phytotoxins from *Alternaria cassiae*. *Phytochemistry* 28 : 73-75.
7. Kenfield, D., G. Bunkers, G.A. Strobel, and F. Sugawara. 1988. Potential new herbicides-phytotoxins from plant pathogens. *Weed Tech.* 2 : 519-524.
8. Kenfield, D., G. Bunkers, Y.H. Wu, G. Strobel, F. Sugawara, Y. Hallock, and J. Clardy. 1989. Gigantenone, a novel sesquiterpene phytohormone mimic. *Experientia* 45 : 900-902.
9. Rader, W.M.E. 1948. *Helminthosporium portulacae* a new pathogen of *Portulaca oleracea* L. *Mycologia* 40 : 342-346.
10. Sands D.C. and R.V. Miller. 1993. Evolving strategies for biological control of weeds with plant pathogens. *Pestic. Sci.* 37 : 399-403.
11. Stierle, A.C., J.H. Cardellina II, and G.A. Strobel. 1988. Maculosin, a host-specific phytotoxin for spotted knapweed from *Alternaria alternata*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 85 : 8008-8011.
12. Stob, M., R.S. Baldwin, J. Tuitte, F.N.

- Andrews, and K.G. Gillette. 1962. Isolation of an anabolic, uterotrophic compound from corn infected with *Gibberella zeae*. *Nature* 196 : 1318.
13. Sugawara F. 1989. Phytotoxic metabolites from weedy pathogen. *Chem. Reg. Plants* 24 : 121-126.
14. Tachibana K. and K. Kaneko. 1986. Development of a new herbicide, bialaphos. *J. Pestic. Sci.* 11 : 297-304.
15. Urry, W.H., H.L. Wehmeister, E.B. Hodge, and P.H. Hidy. 1966. The structure of zearalenone. *Tetrahedron Letters* 27 : 3109-3114.