

## 환경인자가 고추의 생체방어물질 생성에 미치는 영향

심영은 · 신동현<sup>1</sup> · 이인중<sup>1</sup> · 이건주 · 정규영 · 정형진\*

안동대학교 자연과학대학  
<sup>1</sup>경북대학교 농과대학 농학과

### The Effect of Environmental Factors on the Production of Phytoalexin in Pepper plant (*Capsicum annuum* L.)

Young Eun Shim, Dong Hyun Shin<sup>1</sup>, In Jung Lee<sup>1</sup>, Kon Joo Lee,  
Gyu Young Chung and Hyung Jin Jeong\*

School of Bioresources Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea.  
<sup>1</sup>Dept. of Agronomy, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

#### Abstract

Phytoalexins are produced in plants affected by various environmental factors such as fungal infection, treatment with many chemicals and irradiation by ultraviolet light.

When pepper and tobacco cell suspension cultures were grown on a basal MS medium supplemented with 2,4-D (1 mg/ℓ), benzyl adenine (0.001 mg/ℓ) and 100 μM jasmonic acid, the production of capsidiol was observed.

The total of compound found in pepper plant were around seventy and thirty of them were located in tissue-specific manner.

1-propanethiol, α-D-xylofuranoside, phenol, hexadecanoic acid, ethyl tridecanoate, phytol, linoleic acid and capsidiol are those which have change the production level by treatments, such as the inoculation of *Phytophthora capsici* Leonian, the metalaxyl treatment and the UV-B irradiation, respectively.

The content of capsidiol on inoculation of *P. capsici* with metalaxyl suspension in soil were higher than those of *P. capsici* without metalaxyl. When the soil drench of metalaxyl treatment (1 μg/ml) was delayed after inoculation, the content of capsidiol were higher than that of before.

Irradiated UV-B, the production of capsidiol was identified only at leaf, and contents were the highest for 24 hrs incubation after 20 minutes irradiation.

**Key words** – *Phytophthora capsici* Leonian, Phytoalexin, Capsidiol

---

\*To whom all correspondence should be addressed  
Tel : (054) 820-5464, Fax: (054) 823-1627  
E-mail : JHJ@andong.ac.kr

## 서 론

고추(*Capsicum annuum* L.)는 통화 식물목 가지과 초본 식물이며 우리 나라에서 많이 재배·이용되는 소득작물이고 양념채소로서 그 비중이 매우 높으나, 수량 및 품질 면에서 역병으로 인한 피해가 심각하다. 고추역병의 원인균인 *Phytophthora capsici* Leonian은 전 세계적으로 심각한 토양 전염병으로서[2,11,19], 고추, 가지, 오이, 메론, 호박, 토마토, 수박 등과 같은 식물을 공격한다고 보고되어 있다[14]. Dinal과 Purkayastha[5]에 의하면 고추 식물체가 역병균에 감염되면 줄기에 갈색 띠가 번지고 잎이 시들면서 고사하는데, 이러한 고추역병은 윤작, 저항성 품종의 육성 및 metalaxyl과 같은 항진균제의 사용에 의해 제어될 수 있다고 하였다. 기존의 저항성품종은 병원균의 감염기간이 길어지거나 농도가 높아지면 병해증상을 나타내기 때문에 안정하고 지속적인 역병 저항성품종의 개발이 필요하다. 따라서 저항성 품종을 육성하기 위해서는 우선적으로 병원균 감염 후 야기되는 생체 방어기작을 규명하는 것이 중요하다.

Phytoalexin은 병원균 감염 후에 기주 식물로부터 생산된 antimicrobial 특성을 가지면서[12], 건전한 조직에서는 합성되지 않지만 병원균에 감염되었거나 상처를 입은 조직에서 유도되는 생체방어물질이다. Phytoalexin은 식물의 과에 따라 상이하며, 콩과식물은 phenylpropanoid 유도체[13], 가지과 식물은 terpene phytoalexins[17], 화본과인 벼는 diterpene 등[9,15]이 알려져 있다. 또한 Stossl 등[16]은 고추에서 여러 가지 병원균 및 비병원균의 감염에 의하여 항균성 phytoalexin인 capsidiol이 생성된다고 하였다. 최근에는 배양세포에 elicitor를 처리하여 유용 2차 대사산물의 유도와 생합성 경로 규명에 관한 연구가 이루어지고 있다[6]. 특히 cellulase, jasmonic acid, arachidonic acid 등의 elicitor에 의해 유용 2차 대사산물을 유도하여 생합성 경로를 규명하기 위해 이용되었으며, 여러 종의 식물을 이용하여 capsidiol을 유도한 결과 chili pepper의 callus로부터 capsidiol이 생성되었다[3,7,20]. 이와 같이 기내실험을 통해 phytoalexin이 규명되었으나, 식물체에서 고추 역병균 침입 시 작용하는 생체 방어 기작에 관한 연구는 미비하다.

따라서 본 연구에서는 Metalaxyl, UV와 역병균 등의 환경인자에 의해 고추식물체내의 유도되어지는 물질과 고추의 생체방어물질인 capsidiol의 생성 변화를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 식물재료

공시재료는 경북 영양 고추시험장에서 분양 받은 역병감수성품종인 수비초를 온실내에 과종하여 8매엽 시기까지 재배하여 이를 phytoalexin 분석용 시료로 사용하였다.

### 방법

현탁배양세포로부터 capsidiol의 생성 검정

고추품종 수비초 callus를 1 ppm의 2,4-D, 0.001 ppm의 Benzyl Adenine (BA)를 첨가한 MS 배지에서 현탁 배양하여, 100  $\mu$ M의 jasmonic acid를 첨가하여 18시간 진탕시킨 후 chloroform으로 추출하였다. 추출물을 TLC상에서 전개하여 capsidiol의 spot을 확인한 후, spot를 분리 및 추출하여 4 mM methyl myristate를 내부표준물질로 하여 GC/MS로 동정하였다.

Phytoalexin 유도를 위한 환경인자 분석

#### 가. UV-B 조사

식물체를 UV-B (260 nm)로 10분, 20분, 40분, 60분 조사시킨 다음, 25 $^{\circ}$ C 광 상태에서 3, 24, 48 시간 incubation 후 추출하여 분석 시료로 사용하였다.

#### 나. 역병균 (*P. capsici*) 접종

역병균의 접종은 Kim 등[10]의 방법에 따라 수행하였고, Potato Dextrose Agar (PDA) 배지에서 5일 배양 후, V8 (Campbell soup company U.S.A) 주스 배지에 이식하여 26 $^{\circ}$ C, 7일간 암배양된 유주자를 채취하여 8매엽 시기에 주당 5 ml씩 토양에 관주하였다. 접종 후 경과일수에 따라 3일, 6일, 10일째의 잎, 줄기, 뿌리를 각각 채취하여 분석시료로 사용하였다.

#### 다. Metalaxyl과 역병균 (*P. capsici*) 접종

8매엽 시기의 식물체에 metalaxyl[methyl N-(2-methoxyacetyl)-N-(2,6-xylyl)-D,L-alaninate]을 역병균 접종 전·후에 각각 1  $\mu$ g/ml과 10  $\mu$ g/ml의 농도로 토양에 관주 한 후 3일, 6일, 10일째의 경과일수에 따라 잎, 줄기, 뿌리를 각각 채취하여 분석시료로 사용하였다.

식물체내의 Capsidiol과 유도물질의 분리 및 동정  
처리별 식물체내의 capsidiol 동정 및 정량을 위하여 식

물체 부위별로 약 0.5 cm씩 잘라서 40% ethanol내에서 110 rpm으로 7시간 진탕 추출 후, ethyl acetate로 3회 분획하였다. ethyl acetate 분획물은 sodium sulfate로 탈수하여 감압 농축한 후, GC/MS로 동정 및 정량하였다[18]. GC/MS(Hewlett Packard 6890/5973)의 분석조건은 Column은 Ultra-2(Crosslinked 5% PH ME Siloxane), Oven 조건은 120℃에서 시작하여 분당 2.5℃씩 250℃까지 승온 하였다. 운반체는 He 가스를 사용하였으며, 유속은 0.4 ml/min.로 분석하였다.

### 결과 및 고찰

배양세포로부터 capsidiol 동정

capsidiol을 분리 및 동정하기 위해 담배 와 고추 현탁배양세포에 jasmonic acid를 처리한 결과, 처리구는 Rf 0.32에서 spot가 나타났으나, 무처리구에서는 나타나지 않았다. 이는 Chappell과 Nable[4]이 담배 현탁배양세포에서 capsidiol로 동정하여 보고한 Rf와 일치하였다(Fig. 1).

TLC상의 Rf 0.32부분을 추출 여과하여 GC/MS로 동정한 결과, GC mess spectrum 상에서 m/z는 236 (M+), 221, 203, 175, 163, 157, 147, 135, 121, 107, 93으로서 capsidiol로 동정되었다(Fig. 2). 현탁배양세포에 jasmonic acid의 처

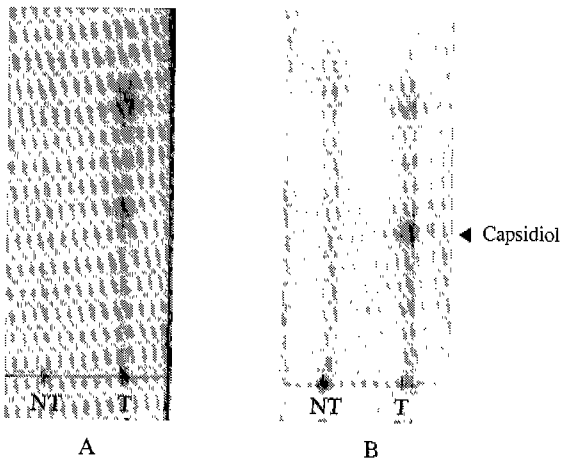


Fig. 1. TLC spot of capsidiol from suspended culture cells of tobacco(A) and pepper(B) plants treated with jasmonic acid.  
NT; Non-treated with jasmonic acid  
T; treated with jasmonic acid

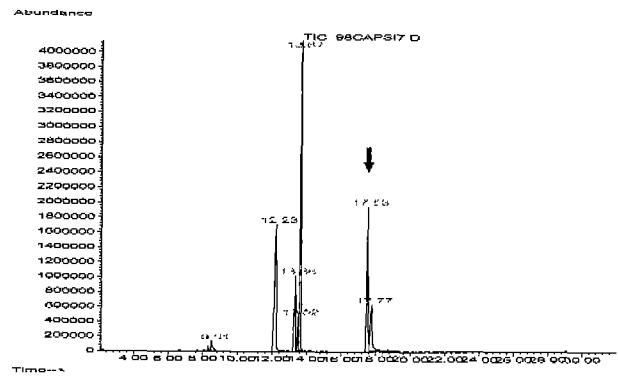


Fig. 2. Gas chromatogram of the extracts from R<sub>f</sub> 0.32 of TLC.

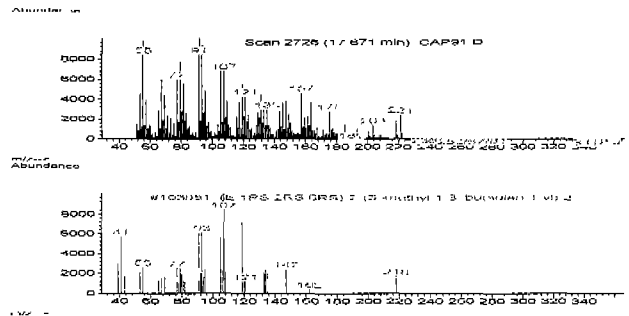


Fig. 3. Mass spectrum of capsidiol identified from extracts of suspended cell culture of pepper plant.

리는 capsidiol이 생성되었으나, 무처리구는 생성되지 않았다. 동정된 capsidiol m/z는 Wibberley 등[21]이 확인한 m/z와 일치하였다.

#### 재배환경에 따른 고추식물체내의 phytoalexin비교

고추 식물체 8매엽 시기에 역병균의 토양 접종 및 UV-B 조사 등의 처리에 따른 식물체 부위별 성분을 동정해 본 결과, 처리별 차이가 있는 성분은 분리 확인된 70개의 화합물 중에서 30개였다(Table 1, Fig. 4). 무처리구의 식물체 내의 부위별 성분함량은 2-pentyl-furan, 1-propanethiol, butanoic acid, α-D-xylofuranoside, benzoic acid, hexadecanoic acid, phenol, 4-ethoxy-2,5-dimethoxybenzaldehyde, octadecadienoic acid, phytol, 10-methoxybenzo(j)furan, linoleic acid, 1,2-epoxy-1-vinylcyclododecane등이 큰 차가 있었다. 역병균의 토양 접종 및 UV-B조사 등에 의한 식물체 내의 성분은 1-propanethiol, α-D-xylofuranoside, phenol,

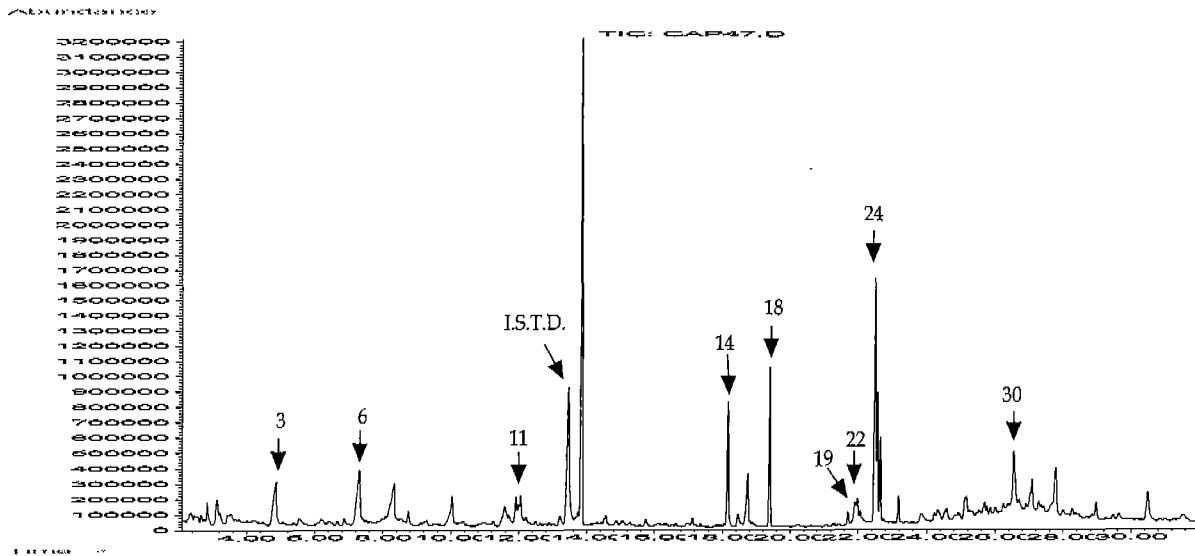


Fig. 4. Gas chromatogram of the compounds derived from extracts of pepper plants treated with various environmental factors.

\*The numbers refer to the compounds shown in Table 1.

Table 1. Gas chromatograph analysis of compounds of extracted from intact pepper plants  
(Compound peak area/I.S.T.D peak area)

Peak No.	Compounds	Leaf	Stem	Root
1	2-Pentyl-furan	0.392	0.056	t
2	Heptanoic acid	t	t	t
3	1-Propanethiol	0.086	t	t
4	Butanoic acid	t	t	0.137
5	Trans-2,4-decadienal	0.015	0.259	0.514
6	$\alpha$ -D-xylofuranoside	t	t	0.044
7	Pentanoic acid	t	t	t
8	Benzoic acid	t	t	0.343
9	4-Hydroxy-3-methoxy-benzoic acid	t	t	t
10	Heptanoic acid	0.142	t	0.080
11	Phenol	0.151	0.237	t
13	Metalaxyl	t	t	t
14	Capsidiol	t	t	t
16	4-Ethoxy-2,5-dimethoxybenzaldehyde	1.179	0.084	t
18	Hexadecanoic acid	0.711	0.037	0.036
19	Ethyl tridecanoate	4.892	3.120	6.611
20	10,13-Octadecadienoic acid	0.248	t	t
21	10-Methoxybenzo(j)furan	0.106	0.051	t
22	Phytol	t	0.360	0.040
23	9,12-Octadecadienoic acid	t	t	t
24	Linoleic acid	t	t	0.857
25	Ethyl linoleolate	1.513	5.407	0.187
26	9-Octadecenoic acid	5.342	3.062	0.389
27	Octadecanoic acid	0.118	0.498	0.412
28	Naphthalene	0.341	0.256	1.014
29	6-Nitro-cylohexadecane-1,3-dione	0.010	0.195	1.628
30	1,2-Epoxy-1-vinylcyclododecane	t	0.852	t

t: Trace

hexadecanoic acid, ethyl tridecanoate, phytol, linoleic acid 및 capsidiol 등이 차이를 나타내었다. 특히 capsidiol 은 무처리구에서는 생성되지 않았으나, 역병균 (*P. capsici*) 접종 및 UV-B 조사에 의하여 생성되었다.

이러한 결과는 phytoalexin이 물리적·화학적·생물학적 stress에 의해 생성되어진다는 보고로 미루어 보면[5], 역병균 접종 및 UV-B 조사에 의한 고추 식물체내의 capsidiol 생성은 환경 stress에 의하여 유도된 것으로 생각된다.

역병균 접종 후 경과 일수에 따른 역병 발병 정도를 조사해 본 결과, 역병 발병은 토양 내에 역병균 접종 3일 후 부터 시작되었으며, 역병균 접종 후 일수가 경과할수록 발병 정도는 증가하였다(Table 2). metalaxyl 약제 처리 시기 및 농도에 따른 역병 발병 정도는 metalaxyl 약제의 역병균 접종 전 후시기 공히 metalaxyl의 1 µg/ml 이하에 10 µg/ml 농도처리시에 발병 정도가 낮았다. 이는 metalaxyl 처리 농도가 높을수록 역병의 진전 속도가 감소한다는 Dinial과 Purkayastha[5]의 보고와 일치하였다.

역병균 접종 후 경과 일수별 역병 발병 정도에 따른 식물체 부위별 성분의 함량 변화를 조사한 결과, 역병 발병 정도가 심할수록 식물체내의 성분 함량은 잎에서 hexadecanoic acid, ethyl tridecanoate, linoleic acid 등이 감소하였고, 줄기에서 phenol, ethyl tridecanoate, phytol 등이 증가하였고, 뿌리에서 α-D-xylofuranoside, phenol, ethyl tridecanoate, linoleic acid 등이 감소하였다(Table 3). 역병 발병 정도에 따른 부위별 capsidiol 함량은 1.5 cm~3 cm의 병반 크기에서는 잎에서, 0.5 cm~1.5 cm에서는 줄기에서 가장 높았다. 뿌리내의 capsidiol 함량은 줄기 병반의 길이가 높을수록 작았다.

역병균 단독 접종시와 metalaxyl 처리시의 부위별 경과

Table 2. Changes in the progress of disease of pepper plants after *P. capsici* inoculation and metalaxyl application

Treatments	Lesion length (cm)		
	3*	6	10
<i>P. capsici</i>	2.5	3.0	5.0
<i>P. capsici</i> + 1 µg/ml Metalaxyl	0.8	1.8	4.3
<i>P. capsici</i> + 10 µg/ml Metalaxyl	0.0	1.8	3.3

\*Days after inoculation in soil

일수에 따른 성분의 변화를 조사한 결과, 처리별 뚜렷한 차이를 나타내는 성분은 phytol이었고, 경과일수가 많을 수록 식물체 전 부위에서 감소하였다(Table 4). 처리에 따른 식물체의 성분 함량은 역병균 단독 접종시에 비하여 metalaxyl 처리시에 ethyl tridecanoate가 현저히 증가하였고, 역병균 단독 접종 처리에 따른 엽중의 phenol, hexadecanoic acid 등의 성분은 줄기와 뿌리에 비하여 높았다. metalaxyl 처리시기와 농도에 따른 식물체의 성분 함량은 역병균 접종 전 metalaxyl 처리가 접종 후 metalaxyl 처리에 비하여 잎에서 1-propanethiol과 phenol이, 줄기에서는 α-D-xylofuranoside, metalaxyl, phytol 등이 증가하였다. 처리농도와 경과 일수에 따른 식물체의 대부분 화합물 함량은 부위별 큰 차가 없었으나, 뿌리내의 ethyl tridecanoate 함량은 역병균 접종 전 metalaxyl 10 µg/ml 처리 후 3일이 접종 1일 후에 비하여 약 3배 높았다.

metalaxyl 농도와 처리시기에 따른 capsidiol 생성 변화를 조사한 결과, capsidiol 함량은 역병균 단독 접종시보다 metalaxyl과 역병균 혼용 처리시 높았으며, 부위별로는 줄기에서 가장 높았다(Table 5). metalaxyl 처리시기에 따른 capsidiol의 함량은 전부위에서 역병균 접종전 metalaxyl 처리보다 역병균 접종 후 metalaxyl 처리시 높았고, 시기 및 농도간에는 역병균 접종 후 metalaxyl 1 µg/ml 처리 후 6일에 가장 높았다. 이는 역병균을 접종하기 전에 metalaxyl 을 처리했을 때보다 후 처리시 capsidiol 함량이 높게 나타난다는 Dinial과 Purkayastha[5]의 보고와 일치하였으나, metalaxyl 처리 농도가 증가함에 따라 고추줄기에서 capsidiol 함량이 증가한다는 황 등[8]의 보고와 상이하다. 상이한 결과는 공시품종, metalaxyl 처리시기, 경과일수의 차이에 의해 기인된 것으로 생각된다.

고추 식물체의 UV-B 조사 및 incubation 시간에 따른 화합물의 변화를 조사한 결과, 무처리에 비해 UV-B 조사 시 1-propanethiol, α-D-xylofuranoside 등이 생성되었다(Table 6). UV-B 20분 조사 후 3시간 incubation했을 때는 다른 처리에 비하여 잎에서 hexadecanoic acid, ethyl tridecanoate의 함량이 높았다. 1-propanethiol의 함량은 UV-B 조사 후 24시간 incubation 시는 무처리에 비하여 증가하였으나, 48시간 incubation에서는 감소하였다. UV-B의 60분 조사 후 3시간 incubation시에 줄기의 성분들은 단지 ethyl tridecanoate 만 증가하였고, 다른 성분들은 큰 차가

Table 3. Changes of compound composition on the production of phytoalexin according to the progress of disease in pepper plants  
(Compound peak area/I.S.T.D. peak area)

Peak No.	Compounds	Positions	Lesion length (cm)			
			0~0.5	0.5~1.5	1.5~3	3<
3	1-Propanethiol	Leaf	0.401	0.173	0.064	0.179
		Stem	0.003	t	t	0.076
		Root	t	t	0.008	t
6	$\alpha$ -D-xylofuranoside	Leaf	t	t	0.304	t
		Stem	0.048	0.036	0.140	0.559
		Root	0.173	t	t	t
11	Phenol	Leaf	t	t	t	t
		Stem	t	t	0.368	1.030
		Root	1.952	0.371	0.077	t
14	Capsidiol	Leaf	t	0.014	0.023	t
		Stem	0.120	0.476	0.299	0.171
		Root	0.739	0.270	0.054t	t
18	Hexadecanoic acid	Leaf	1.562	0.470	0.425	t
		Stem	0.003	t	t	0.145
		Root	t	0.029	t	t
19	Ethyl tridecanoate	Leaf	9.129	4.939	4.152	0.807
		Stem	0.299	0.204	1.624	5.160
		Root	9.250	0.208	0.051	t
22	Phytol	Leaf	t	t	t	t
		Stem	0.014	t	t	1.036
		Root	t	t	0.010	t
24	Linoleic acid	Leaf	2.515	t	t	t
		Stem	2.213	2.765	1.747	0.053
		Root	0.978	0.101	0.056	t

t: Trace

없었다.

고추 식물체에 UV-B 조사시간에 따른 incubation 후 부위별 capsidiol의 생성 변화를 조사한 결과, capsidiol은 UV-B를 조사하지 않은 식물체의 전 부위에서 생성되지 않았으나, UV-B 조사하는 앞에서 생성되었다(Table 7). UV-B 조사 후 incubation 시간에 따른 capsidiol 함량은 UV-B의 10, 20, 40, 60분 조사 후 24시간 incubation했을 때 높게 나타났다. 이는 UV-B를 조사한 고추 앞에서 capsidiol이 유도되며, abiotic elicitor인 UV-B를 조사함으로써 sesquiter

pene phytoalexin인 capsidiol의 합성에 필요한 두 번째 효소인 5-epi-aristolochene syntase를 고추 앞에서 분리할 수 있다는 연구보고[1]와 일치하였다.

### 요 약

역병균 접종, UV-B 조사 등의 환경인자에 의해 고추의 생체방어물질 및 유도되는 화합물을 조사하였다.

Capsidiol은 2,4-D (1 mg/ l), benzyl adenine (0.001 mg/

Table 4. Changes of compound composition on the production of inducible phytoalexin according to time and concentration of the metalaxyl application and *P. capsici* inoculation (Compound peak area/I.S.T.D. peak area)

Peak No.	Compounds	Positions	Inoculation of <i>P. capsici</i>			Metalaxyl application days before inoculation (1 µg/ml)			Metalaxyl application days before inoculation (10 µg/ml)			Metalaxyl application days after inoculation (1 µg/ml)			Metalaxyl application days after inoculation (10 µg/ml)		
			3	6	10	3	6	10	3	6	10	3	6	10	3	6	10
			3	1-Propanethiol	Leaf	0.401	0.263	t**	0.462	0.126	0.041	0.335	0.119	0.061	0.462	0.140	0.017
		Stem	0.021	0.113	t	0.005	0.043	0.056	0.010	0.108	0.228	0.005	0.001	0.158	0.005	t	0.171
		Root	t	t	0.172	0.066	0.101	0.012	0.080	0.129	0.066	0.052	0.297	0.011	t	t	
6	$\alpha$ -D-xylofuranoside	Leaf	t	t	0.958	0.123	t	1.383	t	t	0.514	0.123	0.146	0.036	t	0.054	0.544
		Stem	0.329	0.832	t	0.015	0.839	0.094	0.197	1.527	0.066	0.015	0.304	0.038	0.132	0.475	t
		Root	t	0.218	t	0.083	0.031	t	t	1.165	t	0.083	0.096	t	0.149	t	0.018
11	Phenol	Leaf	t	t	t	0.099	t	0.062	t	t	t	0.099	0.092	0.016	0.074	t	t
		Stem	t	1.535	0.080	0.277	0.709	0.023	0.326	0.273	t	0.277	0.649	t	0.145	0.784	0.066
		Root	2.459	0.143	0.344	0.823	0.561	0.014	2.575	0.169	0.050	0.823	0.061	0.157	1.156	0.015	0.072
13	Metalaxyl	Leaf	t	t	t	0.217	t	t	t	t	t	0.217	t	t	t	t	t
		Stem	t	t	t	0.033	0.178	t	0.029	t	t	0.033	t	t	t	t	t
		Root	t	t	t	t	0.244	t	t	0.154	0.058	t	t	0.070	0.475	t	0.130
18	Hexadecanoic acid	Leaf	t	t	t	1.920	0.426	0.080	0.883	0.401	0.269	1.920	0.215	0.134	0.725	0.133	0.186
		Stem	0.039	0.808	2.863	0.023	0.172	t	0.015	t	t	0.023	t	t	0.008	0.035	t
		Root	0.071	0.208	0.108	t	t	t	t	0.028	0.019	t	0.019	t	t	0.012	0.009
19	Ethyl tridecanoate	Leaf	1.562	0.714	0.179	11.011	5.242	1.164	5.889	3.852	2.314	11.011	2.631	0.843	4.691	1.678	1.611
		Stem	0.021	0.217	t	1.528	4.264	1.219	0.957	3.071	1.439	1.528	0.844	0.750	0.750	0.712	2.185
		Root	t	t	0.127	2.976	0.261	0.019	12.851	0.154	0.010	2.976	0.069	0.105	4.101	0.048	0.213
22	Phytol	Leaf	9.129	7.508	1.042	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t
		Stem	2.056	7.688	0.422	0.082	0.785	0.022	0.150	0.252	t	0.082	t	t	0.033	0.071	t
		Root	1.655	0.728	0.095	0.031	0.078	t	0.105	0.046	0.024	0.031	0.025	t	0.038	t	t
24	Linoleic acid	Leaf	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t
		Stem	0.099	1.544	t	2.613	t	3.196	1.688	t	t	2.613	3.391	3.368	0.923	1.360	t
		Root	t	0.019	t	0.136	0.277	0.029	1.114	0.567	0.046	0.136	0.107	t	0.542	0.155	0.100

\*: Days after treatment, t\*\*: Trace

Table 5. Effects of metalaxyl application time and concentration on the production of capsidiol in pepper plants (Compound peak area/I.S.T.D. peak area)

Positions	Inoculation of <i>P. capsici</i>			Metalaxyl application days before inoculation (1 µg/ml)			Metalaxyl application days before inoculation (10 µg/ml)			Metalaxyl application days after inoculation (1 µg/ml)			Metalaxyl application days after inoculation (10 µg/ml)		
	3	6	10	3	6	10	3	6	10	3	6	10	3	6	10
	Leaf	t**	t	t	t	0.046	0.032	t	t	t	t	0.091	0.087	t	0.019
Stem	0.010	0.254	0.169	0.022	2.114	1.022	t	0.101	0.215	0.024	2.116	1.033	t	1.103	1.152
Root	t	0.735	t	t	1.352	1.031	t	0.886	0.029	1.170	1.570	1.036	0.780	0.997	1.101

\*: Days after treatment, t\*\*: Trace

이 첨가된 MS배지에 jasmonic acid 100 µM을 처리한 담배와 고추 현탁배양세포의 추출물로 부터 Rf 0.32(TLC)에서 동정되었다.

고추 식물체내에서 70개의 화합물이 동정되었고, 그 중 부위별 차이가 있는 성분은 30개이었다.

역병균 접종, metalaxyl 처리, UV-B 조사 등과 같은 환경인자에 의하여 식물체 중의 1-propanethiol,  $\alpha$ -D-xylofuranoside, phenol, hexadecanoic acid, linoleic acid, phytol, ethyl tridecanoate 및 capsidiol 등의 생성 성분 함량 간에 차가 있었다.

Table 6. Effects of UV-B exposure on the production of inducible compounds in pepper plants  
(Compound peak area/I.S.T.D. peak area)

Peak No.	Compounds	Positions	Untreated control	Times after UV-B irradiation (min.)											
				10			20			40			60		
				3*	24	48	3	24	48	3	24	48	3	24	48
3	1-Propanethiol	Leaf	0.086	t**	0.208	t	t	0.350	0.097	t	0.220	0.126	t	0.226	0.103
		Stem	t	0.116	0.289	0.082	t	0.359	t	t	0.151	0.025	t	t	0.372
		Root	t	2.415	1.374	0.798	t	t	0.285	t	0.538	0.300	1.279	t	0.218
6	$\alpha$ -D-xylofuranoside	Leaf	t	0.135	0.148	t	0.182	0.084	t	0.120	0.260	0.071	0.059	0.196	0.208
		Stem	t	t	0.053	t	t	t	t	0.054	t	t	t	t	t
		Root	0.044	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t
11	Phenol	Leaf	0.151	0.135	0.179	t	0.163	0.113	0.182	0.150	0.287	0.113	t	0.166	0.137
		Stem	0.237	t	0.106	0.110	0.141	0.350	0	0.101	0.110	0.517	0.122	0.122	0.104
		Root	t	2.301	6.830	2.954	0.973	t	1.345	0.799	3.285	2.758	1.319	2.114	0.581
18	Hexadecanoic acid	Leaf	0.711	1.107	0.404	t	1.621	0.552	0.215	0.645	0.532	0.129	0.623	0.370	0.062
		Stem	0.037	t	0.093	t	t	t	t	t	0.056	0.038	t	t	t
		Root	0.036	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t
19	Ethyl tridecanoate	Leaf	4.892	4.100	3.092	t	7.034	3.017	1.863	3.652	3.116	0.653	4.383	3.476	0.351
		Stem	3.120	6.786	6.961	2.274	11.979	6.957	2.247	9.673	5.537	2.068	15.337	12.381	4.308
		Root	6.611	35.226	37.097	17.303	28.082	t	17.197	6.772	15.950	27.855	17.129	30.430	12.967
22	Phytol	Leaf	t	7.837	t	r	t	1.191	1.010	3.710	2.139	0.561	t	1.720	0.484
		Stem	0.360	t	t	t	t	t	t	0.145	t	t	t	t	t
		Root	0.040	0.224	t	0.127	t	r	t	t	t	t	t	0.154	0.226
24	Linoleic acid	Leaf	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t
		Stem	t	t	t	4.509	t	t	t	t	t	3.143	t	t	t
		Root	0.867	t	t	t	t	r	t	t	t	t	t	t	t

\*: Incubation times after UV-B irradiation (hr), t\*\*: Trace

Table 7. Effects of UV-B exposure on capsidiol production in pepper plants (Compound peak area/I.S.T.D. peak area)

Positions	Untreated control	Times after UV-B irradiation (min.)											
		10			20			40			60		
		3*	24	48	3	24	48	3	24	48	3	24	48
Leaf	t**	t	0.075	t	t	0.142	t	0.085	0.130	0.128	t	0.098	0.093
Stem	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t
Root	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t

\*: Incubation times after UV-B irradiation (hr), t\*\*: Trace

Capsidiol은 역병균 접종, metalaxyl과 역병균 혼용 접종 및 UV-B 조사에 의해 생성되었다. capsidiol 함량은 역병균 단독 접종에 비하여 metalaxyl 혼용 처리시가 높았고, 역병균 접종 전 metalaxyl (1  $\mu\text{g}/\text{ml}$ ) 처리시보다 접종 후 처리시가 높았다.

UV-B 조사시의 capsidiol은 앞에서 생성되었고, 특히 UV-B 20분 조사 후 24시간 incubation했을 때 가장 높았다.

### 감사의 글

본 연구는 2000년 농림기술센터 첨단연구과제 및 97년

학술진흥재단 Post doctor의 연구비 지원으로 수행되었으며 연구비지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. Back, K. W., K. U. Kim and D. H. Shin. 1998. Cloning and bacterial expression of sesquiterpene cyclase, a key branch point enzyme for the synthesis of sesquiterpenoid phytoalexin capsidiol in UV-challenged leaves of *Capsicum Annuum*. *Plant Cell Physiol.* **39(9)**, 899-904.
2. Barksdale, T. H., G. S. Papavizas and S. A. Johnston.



1984. Resistance to foliar blight and crown rot of pepper caused by *Phytophthora Capsici*. *Plant Dis.* **68**, 506-509.
3. Brooks, C. J. W., P. G. Weston and I. M. Freer. 1986. Elicitation of capsidiol accumulation in suspended callus culture of *Capsicum Annuum*. *Phytochem.* **25**, 1089-1092.
4. Chappell, J. and R. Nable. 1987. Induction of sesquiterpenoid biosynthesis in tobacco cell suspension cultures by fungal elicitor. *Plant Physiol.* **85**, 469-473.
5. Dinial, M. and R. Purkayastha. 1995. *Handbook of phytoalexin metabolism and action*. pp. 11-615, Marcel Dekker, Inc.
6. Heller, W. and T. Kuhn. 1985. Elicitor induction of a microsomal 5-o-(4-coumaroyl) shikimate 3'-hydroxylase in parsley cell suspension cultures. *Arch. Biochem. Biophys.* **24**, 453-460.
7. Hoshino, T., M. Chida, T. Yamaura and Y. Yoshizawa. 1994. Phytoalexin induction in green pepper cell cultures treated with arachidonic acid. *Phytochem.* **25**, 1089-1092.
8. Hwang, B. K. and N. K. Sung. 1989. Effect of metalaxyl on capsidiol production in stems of pepper plants infected with *Phytophthora Capsici*. *Plant Dis.* **73**, 748-751.
9. Kaliappan, K. and G. S. R. Subba Rao. 1996. An Expedient route to the preparation of key intermediate for the total synthesis of aphidaclin, stemodin and oryzalexin S<sup>1</sup>. *Tetrahedron Letters* **37(46)**, 8429-8430.
10. Kim, Y. J., B. K. Hwang and K. W. Park. 1989. Expression of age-related resistance in pepper plants infected with *Phytophthora Capsici*. *Plant Dis.* **73**, 745-747.
11. Leonian, L. H. 1922. Stem and fruit blight of peppers caused by *Phytophthora Capsici* sp. nov. *Phytopath.* **12**, 401-408.
12. Muller, K. and H. Burger. 1940. Experimental untersuchun *Phytophthora* resistenz der kartoffel. *Arbieten. Biol. Reichsaust. Land. Forstwirsch.* **23**, 189-231.
13. Paxton, J. D. 1991. *Biosynthesis and accumulation of legume phytoalexins mycotoxins and phytoalexins* (R. P. Sharma, ed.), Telford Press. pp. 485-499.
14. Polach, F. J. and R. K. Webster. 1972. Identification of stems and inheritance of pathogenicity in *Phytophthora Capsici*. *Phytopath.* **62**, 20-26.
15. Ren, Y. Y. and C. A. West. 1992. Elicitation of diterpene biosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.) by chitin. *Plant Physiol.* **99**, 1169-1178.
16. Stoessl, A., C. H. Vnwin and E. W. B. Ward. 1972. Post-infectional inhibitors from plants. Capsidiol, an antifungal compound from *Capsicum Fruescens*. *Phytopath.* **74**, 141-152.
17. Stoessl, A., J. B. Stothers and E. W. B. Ward. 1976. Sesquiterpenoid stress compounds of solanaceae. *Phytochem.* **15**, 855-872.
18. Ward, E. W. B., C. H. Vnwin and A. Stoessl. 1973. Postinfecnal inhibitors from plants. VII. Tolerance of capsidiol by fungal pathogens of pepper fruit. *Can. J. Bot.* **51**, 2327-2332.
19. Weber, G. F. 1932. Blight of peppers in florida caused by *Phytophthora Capsici*. *Phytopath.* **22**, 775-780.
20. Whitehead, I. M., D. R. Threlfall and D. F. Ewinf. 1987. Cis-9,10-dihydrocapsenone a possible catabolite of capsidiol from cell suspension culture of *Capsicum Annuum*. *Phytochem.* **26**, 1367-1369.
21. Wibberley, M. S., J. R. Lenton and S. J. Neill. 1994. Sesquiterpenoid phytoalexins produced by hairy roots of *Nicotiana Tabacum*. *Phytochem.* **37(2)**, 349-351.

(Received October 12, 2001; Accepted November 20, 2001)