

식물병원성 곰팡이에 대한 몇 가지 식물정유 및 주성분의 성장억제 효과

조현지 · 신동일*

대구가톨릭대학교 생명자원학부 식물유전공학 전공

Received November 24, 2004 / Accepted December 1, 2004

Antifungal Activity of Some Essential Oils and Their Major Constituents on 3 Plant Pathogenic Fungi. Hyun Ji Cho and Dongill Shin*, *Department of Plant Genetic Engineering, Catholic University of Daegu, Hayang, Kyungpook 712-702, Korea* - 11 plant essential oils are screened *in vitro* for their antifungal activities against *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* and *Rhizoctonia solani*, which are causative agents of serious plant diseases. The radial growth of the test fungi were reduced in response to the oils. Among them, the essential oil from the bark of *Cinnamomum zeylanicum* inhibited 3 tested fungi growth, strongly, followed by those of oregano and thyme. The major constituents of the three essential oils, cinnaldehyde, carvacrol and thymol were tested for their effects on the fungi. From the results obtained, cinnamaldehyde, the major constituents of *C. zeylanicum* bark essential oil, has potential to be developed as a biopesticide for controlling phytopathogenic fungi causing serious damages on the important crops cultivated in Korea.

Key words – Essential oil, pathogenic fungi, biopesticide, antifungal, cinnamon

식물정유(plant essential oils)와 추출물은 수 천 년 동안 향수, 착향제, 약품 및 식품의 보존 등 여러 가지의 용도로 사용되어져 왔다[12,13]. 특히 식물정유의 항 미생물적 특성은 식품의 보존, 의약품의 제조 및 대체의학과 자연치유법의 이용 등 다양한 용도로의 개발에 기본이 되어 왔다[2, 3,4,9,16,21,28].

식물정유는 주로 증류법(steam distillation 또는 hydro-distillation)에 의해 추출되며, mevalonic acid pathway를 통해 생성된 terpenes과 shikimic acid pathway를 통해 합성된 aromatic polypropanoids로 주로 구성된 이차대사산물이다. 식물체 내에서 이들의 기능에 대해 잘 알려진 것은 없지만 주로 수분매개체의 유인(꽃의 향기), 해충이나 미생물에 대한 방어(잎, 줄기, 뿌리의 oil) 역할을 하는 것으로 믿어진다.

여러 가지 식물정유와 주요성분의 항미생물적 특성에 관한 연구는 1900년대 초부터 시작하여 현재까지 많은 연구가 진행되어 왔다. 이러한 항미생물적 특성은 예로부터 식품의 저장 등에 많이 이용되어져 왔지만, 근래에 들어 가공과 식품의 질병과 변질을 방지하는 용도로 많이 연구가 되어지고 있다[1,3,5,6,22]. 식물정유 또는 그 성분을 식품 등에 직접 처리를 가능토록 하는 것은 이들이 일반적으로 안전한 화합물(GRAS: Generally regarded as safe)로 인정을 받았기 때문이며 GRAS compound인 식물정유의 새로운 이용성에 대한 관심이 크게 증가하고 있다[20].

이러한 용도 중의 하나로 합성화학농약을 보완, 대체할 수 있는 생물농약의 개발을 들 수 있다. 현재 우리가 이룬

농업의 발전은 새로운 품종의 육종과 더불어 인간이 인위적으로 합성하여 만든 화학비료 및 화학농약의 투입에 기인한 것임은 주지의 사실이다. 그러나 농업생산성을 높이기 위한 이들 화학제품, 특히 화학농약의 과다사용은 식물병원균의 저항성 획득, 농산물에 대한 농약독성의 잔류, 토양의 산성화, 사람과 가축 또는 동물에 대한 독성, 천적의 감소, 대기 또는 수자원의 오염, 자연생태계의 파괴 등 피해 대상이 확산되고 있으며, 피해의 정도도 또한 날로 심각해지고 있다. 이러한 합성농약의 사용에 의한 생체 및 환경에 대한 피해를 줄이기 위한 대안으로서 미생물, 동·식물을 포함한 생물에서 유래한 천연성분을 이용하여 잔류독성, 환경오염 등 생태계에 부담을 주지 않고 병해충을 구제할 수 있는 생물농약의 개발 필요성이 대두되었다. 동물, 식물, 미생물, 특정 미네랄 등으로부터 유래하는 biopesticide는 현재 175종류 정도의 등록된 활성 성분으로부터의 700가지 정도가 생물농약이 알려져 있다. 식물로부터의 향균 또는 제충효과를 보이는 농약성분은 주로 식물의 2차대사산물로서 대부분 페놀류(phenols, phenolic acids, quinones, flavones, flavonols, tannins, coumarins), terpenoids, essential oils, 알칼로이드계통, lectins, polyacetylenes등에 속하고 이외에 polypeptides도 포함이 된다[4].

본 실험에 사용된 11 종의 식물정유는 향신료, aromatherapy, 또는 여러 나라에서 전통적으로 민간의약 등의 용도로 사용되어온 식물에서 추출된 것으로서 항생효과를 포함한 매우 다양한 기능이 보고된 바 있다[15,20]. 특히 cinnamon은 중요한 향신료로서 착향제, 향료, 음료 및 약제로 많이 이용되어져온 식물이다[1,18].

Cinnamon의 이러한 다양한 효용성과 민속식물학적 자료

*Corresponding author

Tel : +82-53-850-3297, Fax : +82-53-850-3459

E-mail : dishin@cataegu.ac.kr

를 토대로 바이러스, 박테리아, 진균에 대한 항생효과에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으나 주 연구대상은 인간에게 병을 일으키는 균에 집중되어져 왔다[11,16,17,23].

본 연구의 대상이 된 3종의 식물병원성 진균은 다양한 농작물에 많은 피해를 끼치는데 *Rhizoctonia solani*는 작물, 채소, 화훼류 등 다양한 식물을 침해하며 숙주식물의 줄기나 엽병의 지체부, 어린 묘의 배 축 부위, 크라운, 뿌리 등에 피해를 주는 주요한 토양진균이다. *Fusarium oxysporum*은 무, 배추, 상추, 오이, 토마토, 가지 등 대부분의 작물에 발생하나 기주 특이성이 강하여 토마토를 침해하는 병원균은 토마토에만 병원성이 있는 대표적 토양진균이며 *Botrytis cinerea* 또한 토마토와 오이, 가지, 피망, 딸기, 상치 등 각종 채소류와 과수, 화훼류 까지 침해하는 다범성 병원균으로 국내의 과채류 시설재배에 가장 큰 피해를 끼치는 균이다. 본 연구는 항 진균성이 있는 것으로 알려진 식물정유 11종의 몇 가지 중요 진균에 대한 방제효과를 비교 조사하고, 그들의 주요성분의 효과를 조사함으로써 실용성 있는 생물농약의 개발을 위한 첫 단계로 수행되었다.

재료 및 방법

실험재료

1) 식물정유 및 주성분

실험에 사용된 clove leaf (*Eugenina carophyllate*), rosemary (*Rosemarinus officinalis*), menthol (*Mentha piperita*), thyme (*Thymus vulgaris*), Cinnamon leaf (*Cinnamomum verum*), eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), oregano (*Oreganum vulgare*), Palmarosa (*Cymbopogon martini*), Basil (*Ocimum basilicum*), cedarwood chinese (*Thuja orientalis*), Cinnamon bark (*C. zeylanicum*)의 정유는 Poya naturals Co. (Australia)로부터 증기증류법(thyme은 CO₂추출)으로 추출한 것을 구입하였다. Thymol, cavacrol과 cinnamaldehyde는 Sigma-Aldrich 사(Mo. USA)에서 구입하여 동량의 95% ethanol에 섞어 사용하였다.

2) 실험대상 균주

본 실험에 사용된 균주는 *Rhizoctonia solani* (수도 잎짚무늬마름병), *Fusarium oxysporum* (토마토 시들음병), *Botrytis cinerea* (잿빛곰팡이병) 등 3종으로 이들은(주) 경농중앙연구소(경북, 경주)에서 분양 받아 사용하였으며, potato dextrose agar (PDA)배지에서 *Rhizoctonia solani* (수도 잎짚무늬마름병), *Fusarium oxysporum* (토마토 시들음병)은 26℃에서, *Botrytis cinerea* (잿빛곰팡이병)은 22℃에서 배양되었다.

3) In vitro 항진균시험

PDA배지에 각 500 ppm의 정유를 첨가하여 약액 배지를 제조한 후 PDA배지에서 배양된 대상진균의 균총을 지름

0.5 cm로 잘라 약액배지 위에 접종하여 7일 동안 배양하여 균사생장율을 조사하였다. 균사의 생장율은 아래의 방법으로 계산하였다.

$$\text{균사생장율(\%)} = \frac{\text{무처리 균총지름} - \text{처리구 균총지름}}{\text{무처리 균총지름}} \times 100$$

Thymol (powder), carvacrol (용액)과 cinnamaldehyde (용액)를 이용한 기내시험은 동량(w/v 또는 v/v)의 95% ethanol에 희석한 용액 200, 300, 500, 700 ppm을 PDA배지에 첨가하여 3반복으로 5-10일 간 관찰하여 같은 방법으로 조사하였다.

4) 현미경 관찰시험

PDA배지에 배양된 대상 진균을 멸균수를 첨가하여 포자를 채취하고 5000 rpm으로 원심 분리하였다. 회수한 포자에 PD borth (Potato dextrose broth)를 첨가하여 포자현탁액을 1×10⁵/ml농도로 만들어 95% ethanol에 300ppm으로 희석한 cinnamaldehyde 처리하여 5일 경과 후 광학현미경 (Eclipse E200, Nikon) 200배율로 포자의 발아유무를 조사하였다.

5) 통계처리

측정치에 대한 통계처리는 one-way ANOVA에 의해 분석하고, 평균은 Tukey HSD에 의한 다중비교를 하였다(5% significance level).

결과 및 고찰

식물정유의 진균 성장억제효과

그동안 생물농약의 개발은 주로 친적 또는 길항작용을 하는 미생물을 이용한 분야에 집중되었다[10,11]. 식물이 함유하고 있는 다양한 이차대사산물이 식물자체의 방어에 중요한 역할을 한다는 것이 주지의 사실이나 이러한 물질을 이용한 생물농약개발이 다른 분야에 비해 저조한 것은 추출, 활성성분 동정 등의 어려움과 효능의 지속성 및 일관성에 대한 부족에 기인한다고 판단된다. 본 실험에서 항진균성이 있는 것으로 알려진 11종의 식물정유를 대상으로 하여 국내의 과채류 시설재배에 많은 피해를 끼치는 3종의 진균에 대해 성장저지 효과가 있음을 확인하였다.

식물정유 11종이 시험대상균 3종의 성장저지효과에 대한 prescreen 결과가 Table 1에 나타나 있다. 3종의 시험대상진균에 대한 성장저지효과는 식물정유의 종류에 따라 차이가 있었으며 가장 효과가 좋은 것으로 나타난 것은 Cinnamon의 수피에서 추출한 정유 이었다.

Cinnamon 수피정유는 3종의 실험 대상 진균의 성장을 거의 완벽히 저지하여 균사의 성장이 육안으로 전혀 관찰되지 않았다.

Thyme과 oregano의 정유는 타 정유에 비해 효과가 뛰어나 있으나 cinnamon 수피정유에 비해서는 그 효과가 낮았다. Thyme과 oregano의 정유에는 carvacrol과 thymol이 주성분으로 함유되어 있으며 주로 *Aspergillus*를 비롯한 다양한 진균과[7,15,23,24] *Staphylococcus aureus* 등의 박테리아에 효과가 있음이 보고 된 바 있으며[2], Ultee 등(1990)의 연구에 의하면 carvacrol은 pathogen의 세포 내에서 ATP합성의 저하 또는 ATP의 가수분해율의 증가를 야기하여 세포내의 ATP pool을 고갈시켜 세포를 치사케 하는 것으로 보고하였다[25].

Cinnamon 수피정유와 앞에서 추출한 정유간의 차이도 명확하게 관찰되었다. *Cinnamomum vera*의 잎에서 추출한 정유는 eugenol (81-85%) 이 주성분이며 그 외 50여종의 화합물이 있는 것으로 보고 된 바 있으며, *Cinnamomum zeylanicum* 수피정유의 주성분이 cinnamaldehyde (75%)이다[2,8]. 이를 통해, 시험한 진균의 성장을 억제하는 것이 cinnamaldehyde임을 추정할 수 있다.

Thymol, cavacrol 및 cinnamaldehyde의 진균 성장억제효과

Cinnamaldehyde는 미국의 식품의약청(FDA)에 의해 GRAS (Generally recongnized as safe) 분류되어 식품의 착향제, 첨가제로 허가되어 있으며, 미국환경청(EPA)에 의해서는 일부 진균, mite, insect repellent로 등록되어 있으며, 생물농약으로 등록 시 독성 및 잔류독성에 대한 시험이 면제된 안전한 물질이다. 이외에도 GRAS 물질을 이용하여 생물농약을 개발하는 연구가 많이 진행 중에 있다[20,29].

이러한 screening의 결과에 따라 thyme과 oregano정유의 주성분인 thymol과 carvacrol 및 cinnamon수피정유의 주성분인 cinnamaldehyde 를 이용하여 각 성분의 항진균 효과를 조사하였다. 여러 연구에서 보고 된 thymol과 carvacrol의 항진균 효과가 본 실험에서 사용된 농도에서는 전혀 관찰되지 않았다(Fig 1). 별도로 시험한 고농도(3,000 ppm이상)의 실험에서는 두 성분이 약간의 효과를 보였으나 그 이하의 농도에서는 전혀 효과가 관찰되지 않았다. 이는 다른 실험에서 나타난 결과와는 상반된 것으로[14,25], 이들의 효과가 species-specific할 수도 있음을 나타내며, 또한 같은 종에 있어서도 억제효과를 나타내는 농도가 10배 이상 차이가 나는 경우가 각각 보고 된 바 있다[15,24,27]. 따라서 thyme과 oregano정유의 항진균 효과는 주성분인 thyme과 carvacrol같은 phenol성분 외에 limonene, terpinene, ocimene, caryophyllene, β -bisabolene and *p*-cymene 같은 monoterpene hydrocarbon 과 linalool, 4-terpineol 같은 monoterpene alcohol과의 다른 미량성분의 상호작용에 의할 수도 있음을 나타낸다[19].

Cinnamon의 정유, 수피추출물, 또는 주성분인 cinnamal-

Table 1. Inhibitory effects of growth of three pathogenic fungi against essential oils.

Oils	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
Control (95% EtOH)	.*	-	-
Clove Leaf	-	++	++
Rosemary	-	-	+
Menthol	-	-	+
Thyme	-	+++	+++
Cinnamon leaf (<i>Cinnamomum verum</i>)	-	+++	++
Eucalyptus	-	-	+
Cinnamon Bark (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	+++	+++	+++
Oregano	-	++	+++
Palmarosa	-	+	++
Basil	-	-	++
Cedarwood chinese	-	-	+

* +++, > 90% reduction of fungal growth; ++, 60-90% reduction of fungal growth; +, 60-30% reduction of fungal growth; -, <30% reduction of fungal growth.

dehyde를 이용한 연구는 항진균, 항박테리아 특성 때문에 주로 의학연구, 식품, 곡물, 꽃 등의 post-harvest관리 등의 분야에서 많이 이루어져 왔다. Rambutan과일의 저장 중에 손상을 발생시키는 *Botryodiplodia theobromae* 등 몇 종의 진균병에 대한 실험에서 cinnamaldehyde가 균사의 성장을 완전히 또는 현저하게 감소시키는 것으로 보고 된 바 있다[26]. 또한 과일과 채소의 저장 중에 부패를 야기하는 *Erwinia cartovora* 등의 부패균에 대해서도 cinnamaldehyde가 큰 효과가 있음이 밝혀진 바 있다[26].

*F. oxysporum*은 시험한 모든 농도(200-700 ppm)에서 균의 성장이 전혀 관찰되지 않았으며, *B. cinerea*는 200 ppm에서 약간의 성장을 보였으나 그 이상의 농도에서는 성장이 관찰되지 않았다. 또한 *R. solani*는 200과 300 ppm에서는 무처리군과 거의 같은 성장을 보였으나 500 ppm의 농도에서는 성장을 하지 못하였다(Fig. 1, Table 2).

현미경관찰 결과 cinnamaldehyde의 fungicidal effect는 포자의 파괴와 균사의 위축을 통해 발아와 성장을 완전히 억제하는 것으로 판단된다(Fig. 2). 이러한 결과는 다른 종류의 aldehyde성분으로 시험한 결과와 일치하며 aldehyde는 fungal mycelia의 전해질을 용출을 야기하여 이러한 작용을 하는 것으로 알려진 바 있다.

B. cinerea 는 시설 재배 시 가장 큰 문제가 되고 있는 지상부 병해를 발생시키며 비단 채소뿐만 아니라 화훼재배에서도 큰 피해를 끼치는 병균이며, *F. oxysporum* 은 전국의 토마토 재배지역에서 고루 발생하는 토양전염성 병해이다.

Table 2. Inhibitory effects of the cinnamaldehyde on three selected plant pathogenic fungi.

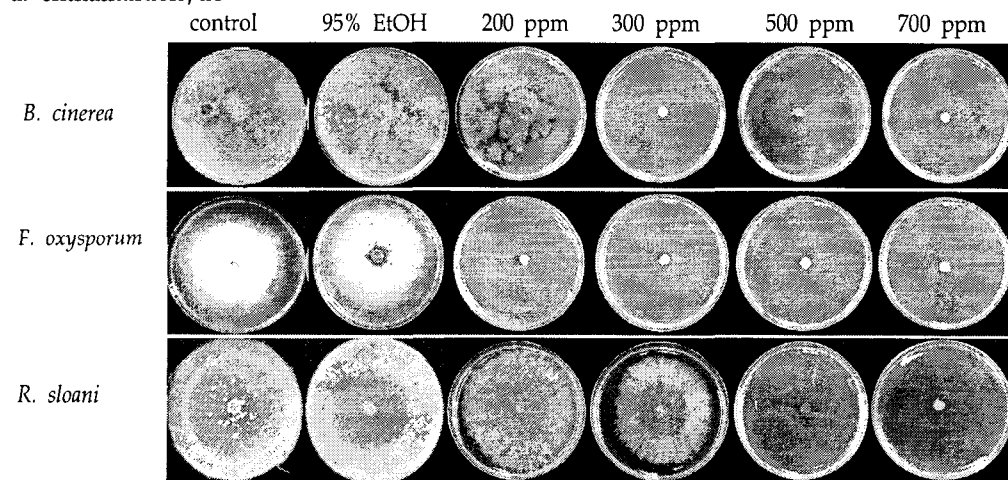
Isolate	Fungi tested					
	<i>B. cinerea</i>		<i>F. oxysporum</i>		<i>R. solani</i>	
	Size (cm)*	I. V (%)**	Size (cm)	I. V (%)	Size (cm)	I. V (%)
Control	8.0±0.0 ^{***}	.	6.9±0.36 ^a	.	8±0.0 ^a	.
95% EtOH	6.4±1.5 ^a	20.0	6.7±0.53 ^a	-1.4	8±0.0 ^a	0
200ppm	2.6±0.40 ^b	67.5	0.0 ^b	100	7.8±0.29 ^a	2.5
300ppm	0.0 ^c	100.0	0.0 ^b	100	7.8±0.35 ^a	2.5
500ppm	0.0 ^c	100.0	0.0 ^b	100	0 ^b	100
700ppm	0.0 ^c	100.0	0.0 ^b	100	0 ^b	100

* Average diameter of fungal growth measured 5 or 7 days after culture.

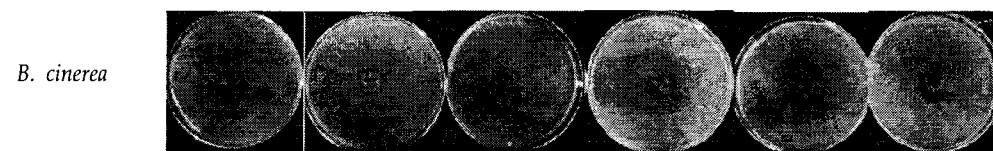
** I. V.: Inhibitory value, calculated with reference to the negative control.

*** Significant differences between treatments are denoted with different superscript letters beside SD (tested with a one-way ANOVA, multiple range test after Tukey HSD; P <0.05)

a. cinnamaldehyde



b. carvacrol



c. thymol

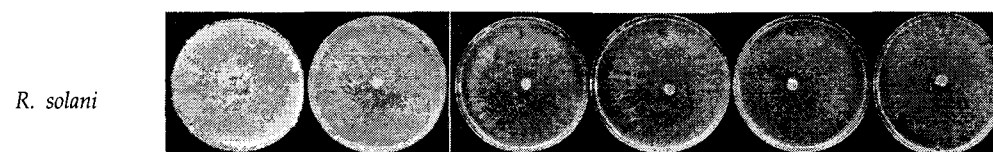


Fig 1. Inhibitory effects of the cinnamaldehyde, carvacrol and thymol on three selected plant pathogenic fungi.

a, The effect of different concentration of cinnamaldehyde on the growth of 3 tested fungi; b, The effect of different concentration of carvacrol on the growth of *B. cinerea*; c, The effect of different concentration of thymol on the growth of *R. solani*.

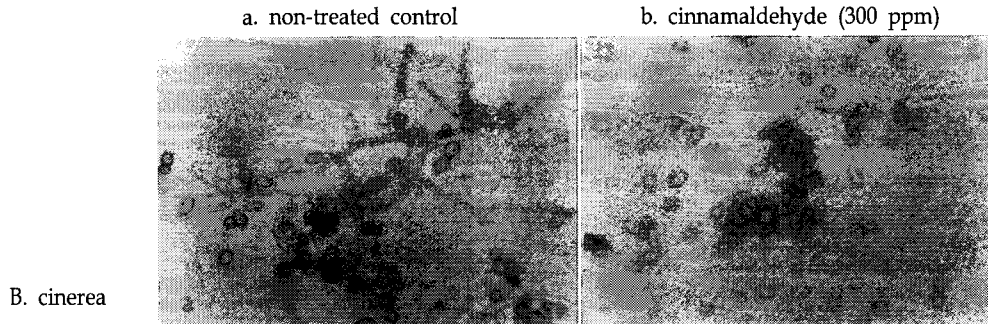


Fig. 2. Effectiveness of cinnamaldehyde on germination of *B. cinerea* spores. (200x magnification).

a, Some germination with ethanol (95%) treatment; b, No growth due to cinnamaldehyde treatment.

또한 *R. solani* 는 발생면적으로나 감수율로 볼 때 벼 병해 중 피해가 가장 큰 병이다. 이러한 중요 병에 대해 본 연구에서 관찰된 방제효과는 매우 활용도가 높을 것으로 예상된다. 특히 시설재배는 밀폐된 공간으로 인해 병의 발생과 전파가 빠를 뿐 아니라 작업자의 안전을 위해서도 효과 있고 안전한 생물농약의 개발이 시급하다고 판단된다. 특히, 채소나 과일은 간단한 세척 후 직접 섭취하는 특성으로 인해 잔류독성이 없는 안전한 농약의 개발이 절실히 요구되며 cinnamaldehyde는 기존의 화학합성농약의 사용에 대한 하나의 대안 또는 보완제로의 개발 가능성 있는 것으로 판단된다. 본 실험에서 증명된 기내에서의 효과를 토대로 현재 시설재배지에서 포장시험이 진행 중에 있다.

감사의 글

본 연구는 2002년 대구가톨릭대학교의 특성화연구비에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

1. Ates, A. D. and Erdogrul, T. O. 2003. Antimicrobial activities of various medicinal and commercial plant extracts. *Turk. J. Biol.* **27**, 157-162.
2. Didry, N. 1994. Activity of thymol, carvacrol, cinnamaldehyde and eugenol on oral bacteria. *Pharm Acta Helv.* **69(1)**, 25-28.
3. Dorman, H. J. D. and Deans, S. G. 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, **88**, 308-316.
4. Hajek, A. 2003. *Natural Enemies-An Introduction to Biological Control* Cambridge University Press.
5. Hammer, K. A., C. F. Carson, and T. V. Riley. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *J. Appl. Microbiol.* **86**, 985-990.
6. Hao, Y. Y., R. E. Brackett, and M. P. Doyle. 1998. Efficacy of plant extracts in inhibiting *Aeromonas hydrophila* and *Listeria monocytogenes* in refrigerated, cooked poultry. *Food microbiol.* **15(4)**, 367-378.
7. Hitokoto, H., S. Morozumi, T. Wauke, S. Sakai, and H. Kurata. 1980. Inhibitory Effects of spices on growth and toxin production of toxigenic fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 818-822.
8. Jayaprakasha, G. K., L. J. Rao, and K. K. Sakariah. 2002. Chemical composition of volatile oil from *Cinnamomum zeylanicum*. *Z. Naturforsch.* **57c**, 990-993.
9. Kays, S. J. 1991. *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*; Van Nostrand Reinhold: New York.
10. Lee, Y. S. 1999. Isolation of antagonistic bacteria to *phytophthora capsici* for biological control of phytophthora blight of red pepper. *Korean J. Life Science.* **9(1)**, 1-7.
11. Lee, Y. S. 1999. Antifungal activity and cultural characteristics of the *Streptomyces* sp. A252. *Korean J. Life Science.* **9(1)**, 8-14.
12. Leung, A. Y., and S. Foster. 1996. *Encyclopedia of Common Natural Ingredients*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 398-9.
13. Leung, A. Y., and S. Foster. 1996. *Encyclopedia of Common Natural Ingredients used in Foods, Drugs, and Cosmetics*, 2d ed. New York: John Wiley & Sons, 168-70.
14. Montes-Belmont R, and M. Carvaial. 1998. Control of *Aspergillus flavus* in maize with plant essential oils and their components. *J. Food Prot.* **61(5)**, 616-620
15. Paster, N., M. Menasherov, U. Ravid, and B. Juven. 1995. Antifungal activity of oregano and thyme essential oils applied as fumigants against fungi attacking stored grain. *J food prot.* **58(1)**, 81-85.
16. Peirce, A. 1999. *Practical Guide to Natural Medicines*. New York: William Morrow and Co. 476-477.
17. Ponce, M. M., A. I. Navarro, and G. M. N. Martinez. 1994. In vitro effect against *Giardia* of 14 plant extracts. *Rev Invest Clin.* **46**, 343-347.
18. Quale, J. M., D. Landman and M. M. Zaman. 1996. In vitro activity of *Cinnamomum zeylanicum* against azole resistant and sensitive candida species and a pilot study of cinnamon for oral candidiasis. *Am. J. Chin. Med.* **24**, 103-109.
19. Ramezani, H., H. P. Singh, D. R. Batish, R. K. Kohli and J. S. Dargan. 2002. Fungicidal effect of volatile oils from *Eucalyptus citriodora* and its major constituent citronellal.

- New Zealand Plant Protection. **55**, 327-330.
20. Sivakumar, D., R. S. W. Wijeratnam and R. L. C. Wijesundera. 2001. Effect of GRAS compounds on mycelial growth, pectic enzyme activity and disease severity of postharvest pathogens on Rambutan (*Nephelium lappaceum*). *Phytoparasitica* **29(2)**, 1-7.
 21. Smid, E. J., Y. de Witte, O. Vrees, and L. G. M. Gorris. 1994. Use of secondary plant metabolites for the control of postharvest fungal diseases on flower bulbs. *Acta Hort. (ISHS)* **368**, 523-530
 22. Soliman, K. M, and R. I. Badea. 2002. Effect of oil extracted from some medicinal plants on different mycotoxigenic fungi. *Food Chem. Toxicol.* **40(11)**, 1669-75.
 23. Stiles, J. C., W. Sparks, and R. A. Ronzio. 1995. The inhibition of *Candida albicans* by oregano. *J Applied Nutr.* **47**, 96-102.
 24. Tantaoui, E. A., and L. Beraoud. 1994. Inhibition of growth and aflatoxin production in *Aspergillus parasiticus* by essential oils of selected plant materials. *J Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* **113**, 670-672.
 25. Ultee, A., E. P. W. Kets, and E. J. Smid. 1999. Mechanisms of Action of Carvacrol on the Food-Borne Pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology.* **65(10)**, 4606-4610.
 26. Utama I. M. S., R. b. H. Wills, S. Ben-Yehoshua and C. Keuk. 2002. In vitro efficacy of plant volatiles for inhibiting the growth of fruit and vegetable decay microorganisms. *J. Agric. Food. Chem.* **50**, 6371-6377.
 27. Vaughn, S. F., and G. Spencer. 1994. Antifungal activity of natural compounds against thiabendazole-resistant *Fusarium sambucinum* strains. *J. Agric. Food Chem.* **42**, 200-204.
 28. Wilson C. L., and M. E. Winiewski. 1989. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables: An emerging technology. *Annu. Rev. Phytopathol.* **27**, 425-441.
 29. Wilson, C. L., and J. M. Solar. 1997. Rapid evaluation of plant extracts and essential oils for antifungal activity against *Botrytis cinerea*. *Plant Disease* **81(2)**, 204-210. [a] USDA-ARS Appalachian Fruit Res. Stn., Kearneysville, WV 25430, USA.