

자외선 조사가 포도잎의 Stilbene 함량 및 잣빛곰팡이병 발생에 미치는 영향

최성진*

대구가톨릭대학교 생명공학과

The Influence of UV Irradiation on Stilbene Contents and Gray Mold Incidence in Grapevine Leaves

Seong-Jin Choi*

Department of Biotechnology, Catholic University of Daegu, Gyeongsan 712-702, Korea

Abstract. In order to confirm the possibility of UV utilization as a means for disease protection in grapevine the stilbene contents and the disease incidence in UV irradiated leaves were investigated. UV irradiation significantly increased the contents of resveratrol, piceatannol and piceid, in them, resveratrol and piceid showed in vitro inhibition of spore germination and mycelium growth of *Botrytis cinerea*. The accumulation of both the stilbenes in UV irradiated leaves seems to be enough to inhibit the *B. cinerea* growth, since the formation of necrotic spot on the leaves was considerably inhibited when they were inoculated with the conidial spores of *B. cinerea*. However the stilbenes were accumulated only in the leaves exposed directly to UV showing a limited translocation ability of the compounds. Thus it would be necessary to develop a method to evenly irradiate the entire crown of plant with UV in order to expect to protect them from disease by UV irradiation.

Additional key words: *Botrytis cinerea*, disease protection, piceid, resveratrol

서 언

Diphenylethylene(stilbene)의 기본 골격을 가지는 polyphenol 화합물의 일종인 resveratrol(3,5,4'-trihydroxystilbene)은 피자 식물과 나자 식물을 포함하여 지금까지 적어도 72종 이상의 종자식물에서 발견되어 왔다(Chong et al., 2009). Resveratrol은 이성질체화, 수산화, 메톡시화, 배당체화, 중합 등의 과정을 거쳐 다양한 형태의 stilbene 화합물로 변형되는데, 식물에서 발견되는 stilbene 화합물은 수십 종류에 이르는 것으로 알려져 있다(Chong et al., 2009; Hart, 1981; Soleas et al., 1997). Resveratrol은 Siemann and Creasy(1992)에 의해 포도주에 함유되어 있다는 사실이 처음 알려지고 암(Jang et al., 1997)이나 심혈관계 질환(Bauer and Sinclair, 2006)에 대한 예방 효과를 가진다는 사실이 보고되면서 최근에는 포도나 포도 가공식품에 함유되어 있는 생리활성 천연물로서 주목을 받고 있기도 하다.

식물에서 stilbene 화합물은 주로 수피의 죽은 조직에서 발견된다(Gonzales-Laredo et al., 1997; Hart, 1981). 그러나 잎(Hanawa et al., 1992), 과실(Waterhous and Lamuela-Raventos, 1994) 또는 뿌리(Korhammer et al. 1995) 등의 살아 있는 조직에서 소량으로 발견되기도 하며, 이러한 조직에서는 물리적, 화학적 또는 생물학적 스트레스에 의해 resveratrol을 포함한 stilbene 화합물의 축적이 촉진된다. 한편, 포도 과실의 경우 resveratrol은 특히 과피의 표피 조직에 축적되며 과육에서는 거의 발견되지 않는다(Jeandet et al., 1995; Lee and Choi, 2009). 이러한 보고를 포함하여, 식물에서 resveratrol은 phytoalexin의 일종으로서 그 주된 기능이 병원균의 침입에 대한 화학적 방어에 있음을 방증하는 다양한 관찰이 보고되어 왔는데, resveratrol의 함성량과 합성의 신속성은 잣빛곰팡이병에 대한 포도의 품종별 저항성과 밀접한 상관관계가 있으며(Langcake and Pryce, 1976), 흰가루병 또는 탄저병에 대해 저항성을 보이는 포도 품종에서는 *Plasmopora viticola*

*Corresponding author: sjchoi@cu.ac.kr

※ Received 9 May 2012; Revised 3 July 2012; Accepted 11 July 2012. 본 연구는 농촌진흥청의 연구비 지원에 의해 ‘지역특화작목연구개발사업’의 연구과제로 수행되었음.

또는 *Elisinoe ampelina*를 접종하였을 때 잎의 resveratrol 함량이 증가하는 것으로 보고되어 있다(Roh et al., 2005). Hart(1981)는 (1) 병원균의 침입 부위에 분포하고 (2) 병원균의 침입과 더불어 적절한 시기에 생성되어 (3) 병원균의 생장을 억제할 만큼 충분한 농도로 존재하며 (4) 그 농도의 변화가 병원균에 대한 감수성의 변화와 일치하는 것을 phytoalexin의 기준으로 하였는데, resveratrol은 phytoalexin의 이러한 기준을 모두 충족한다.

Langcake and Pryce(1977)는 포도 잎에서 자외선 조사에 의해 resveratrol 함량이 증대된다는 사실을 처음으로 보고하면서 자외선에 의한 DNA 손상이 이와 관련이 있을 것으로 추정하였는데, 이러한 현상은 hormesis의 하나로 이해될 수 있다(Choi, 2011; Shama and Alderson, 2005). 즉, 치명적이지 않은 낮은 수준의 위해 요인에 의해 식물 세포에 치유가 가능한 수준의 손상이 발생하면 이러한 손상을 복구하고 스트레스에 대한 저항성을 증진하기 위해 세포는 다양한 생명 활동을 활성화하여 대사 경로를 재편하는데(Luckey, 1980; Shama and Alderson, 2005), 이로 인해 페놀화합물, 폴리아민, 이소프레노이드 등의 이차대사산물의 합성 경로가 활성화되는 것으로 알려져 있다(Jansen et al., 2008). Langcake and Pryce(1977)의 보고 이래, 자외선에 의한 resveratrol의 함량 변화에 대해 여러 연구가 이루어져 왔으며(Sales and Resurreccion, 2009; Wang et al., 2010), Choi(2011)는 특히 포도 잎에서 자외선 조사에 의해 stilbene 함량이 크게 증가하는 것을 보고하면서, 포도의 병 저항성을 증진하는 수단으로 자외선 조사의 활용 가능성을 제시한 바 있다. *Botrytis cinerea*에 의해 발생하는 포도 잿빛곰팡이병은 포도에서 주로 과실에 피해를 입히나 봄철에 신초, 꽃, 잎 등에 발생하기도 하는데, 본 연구에서는 자외선을 조사한 포도 잎에서 stilbene 화합물의 함량 변화와 더불어 잿빛곰팡이병 발생의 차이를 조사하여 병 발생을 경감시키기 위한 수단으로 자외선의 활용 가능성을 분석하기 위한 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

포도 잎의 자외선 조사

무가온 비닐 하우스에서 생육 중인 포도(*V. labruscana* cv. Campbell Early)를 자외선 조사 실험에 이용하였다. 자외선 등(germicidal UV lamp, G30T08 30W, Sankyo Denki, Japan; 주 파장 = 254nm)을 수관 하부 약 30cm의 위치에 설치한 후, 오전 중에 30초, 60초 또는 2분간 점등하여 포도 잎에 자외선을 조사하였다. 두 차레에 걸쳐 자외선을 반복

조사한 실험에서는, 2분간 자외선을 조사하고 9일이 경과한 시점에 자외선을 2분간 추가적으로 조사하였다. 포도 가지의 특정 잎에 한정하여 자외선을 조사한 실험에서는, 자외선 조사 대상 잎을 제외한 잎을 모두 aluminium foil로 감싸 차광 처리한 후 2분간 자외선을 조사하였다. 자외선을 조사한 포도 잎은 1-2일 간격으로 수확한 후 액체 질소에 동결하여 분석에 이용할 때까지 -70°C에 보관하였다.

Stilbene의 추출 및 분석

1g의 동결 포도 잎에 4mL의 80%(v/v) 메탄올을 가하여 resveratrol을 포함한 stilbene 화합물을 추출하였다. 포도 잎에 용매를 가하고 약간의 해사와 함께 막자 사발에서 마쇄하여 얻은 추출액을 4°C에서 20분간 25,000×g로 원심분리하였다. 원심분리 후 상징액을 취하여 즉시 HPLC에 주입하여 stilbene 화합물을 분석하였으며, 이 때 HPLC-mass spectrometry(LC-MS)의 분석 조건은 다음과 같았다. LC 조건: HPLC system = Water model 2696(USA); column = XTerra MS C18(3.5μ, 150 × 2.1mm, Waters, USA); solvent A = 0.1% formic acid, solvent B = acetonitrile; solvent program = 80:20(A/B) to 55:45(A/B) in 10min; flow rate = 0.2mL·min⁻¹; MS 조건: MS system = Waters model 3100 (USA); desolvation gas flow rate = 500L·h⁻¹; cone gas flow rate = 50L·h⁻¹; desolvation temperature = 400°C; source temperature = 120°C; capillary voltage = 4KV; ionization mode = electrospray negative, cone voltage = 35V; data acquisition mode = single ion reaction(SIR); m/z = 227 for resveratrol; m/z = 243 for piceatannol; m/z = 389 for piceid.

Stilbene의 항산화 활성의 검정

항산화 활성의 검정은 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH)를 이용한 radical 소거능 검정법(Sharma and Bhat, 2009)을 이용하였다. Resveratrol, piceid, piceatannol 등 검정 대상 stilbene 화합물을 0.1mM의 농도로 methanol에 용해한 후 500μL(50nmol)를 취하여 동량의 0.4mM DPPH와 혼합하고 25°C에서 30분간 방치한 후 517nm에서 흡광도를 측정하였으며, 각 화합물의 항산화 활성은 0-50nmol 범위의 tocopherol를 이용하여 작성한 standard curve로부터 산출하여 resveratrol 대비 백분율로 표시하였다.

*Botrytis cinerea*의 포자 발아율, 균사 생장 및 포도잎의 잿빛곰팡이병 발생 조사

잿빛곰팡이병에 감염되어 다량의 포자를 방출하는 포도 과실을 실온에서 3일간 건조한 후 *B. cinerea*의 분생 포자를

채집하였다. 포자의 발아에 대한 stilbene 화합물의 영향을 조사한 실험에서는, 40ppm 또는 160ppm의 stilbene 화합물을 포함하는 0.24% potato dextrose broth(0.8% NaCl 함유)에 포자를 풀어 포자 현탁액(1.5×10^4 spores/mL)을 조제한 후, Dichlorodimethyl silane으로 발수 처리한 slide glass(Byun and Choi, 2003)에 5 μ L의 포자 현탁액을 치상하여 25 $^{\circ}$ C 습실에서 24시간 incubation한 후 현미경으로 검정하여 포자 발아율을 5 반복으로 조사하였다. *B. cinerea*의 균사 생장에 대한 stilbene 화합물의 영향을 조사한 실험에서는, 포자를 potato dextrose agar(PDA) 배지에 접종하여 성장 중인 *B. cinerea*의 균사를 멸균 cork borer를 이용하여 균사 가장자리에서 5mm 직경으로 절취한 후, 이를 stilbene 화합물을 포함하는 PDA 배지에 접종하여 25 $^{\circ}$ C 암소에서 배양하면서 균사의 성장 직경(radial growth)을 조사하였다. 이 때, stilbene 함유 PDA 배지는 autoclave한 PDA 용액을 약 50 $^{\circ}$ C로 식힌 후 methanol에 용해한 검정 대상 stilbene 화합물(0-160ppm)을 혼합하고 8cm 직경의 petri dish에 분주하여 조제하였다.

포도 잎에서 자외선 조사 유무에 따른 잿빛곰팡이병의 발생을 조사한 실험에서는, 0.24% potato dextrose broth(0.8% NaCl 함유)에 $10^6 \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 농도로 *B. cinerea* 포자 현탁액을 조제한 후, 20 μ L의 포자 현탁액을 Ependorf repeater(pipette)를 이용하여 포도 잎 뒷면의 4곳에 가압 주입하였다. 접종한 포도 잎은 형광등 조명의 25 $^{\circ}$ C 습실에서 5일간 방치한 후 괴사 반점의 크기 변화를 측정하였으며, 무처리 잎과 UV 처리 잎 각각 10장에 대하여 조사하였다.

결과 및 고찰

자외선 조사에 따른 stilbene 함량의 변화

Choi(2011)는 포도 잎에서 총 16종의 stilbene 화합물을 동정하고 이 중 특히 resveratrol, piceatannol, piceid 등은 자외선 조사의 영향을 받아 함량이 크게 증가하는 것으로 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 이들 주요 stilbene 화합물에 한정하여 자외선 조사에 따른 함량의 변화를 조사하였

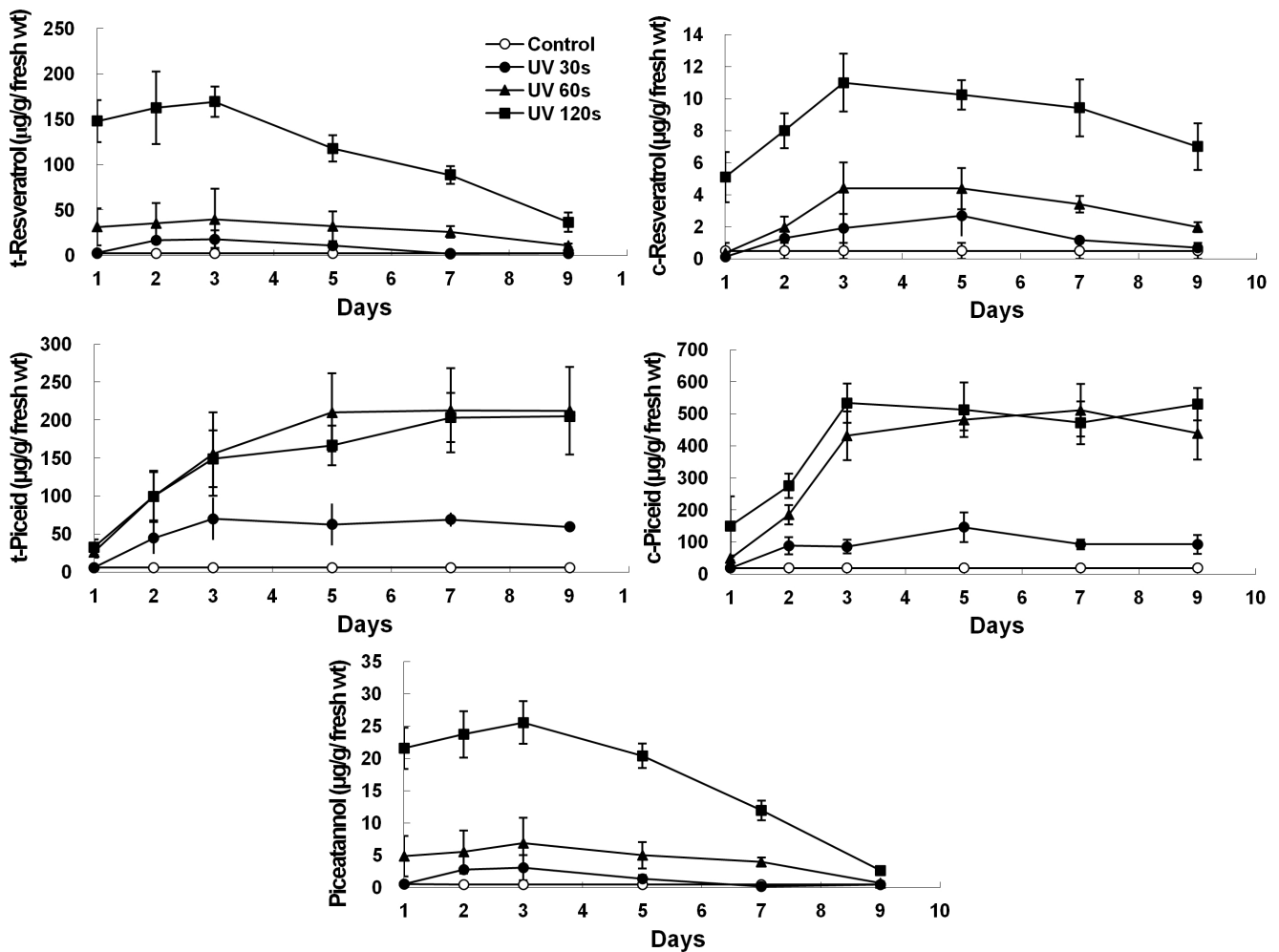


Fig. 1. The changes of stilbene contents in grape leaves according to the time of UV irradiation. Vertical bars show SE (n = 5). The UV irradiation was carried out early in May.

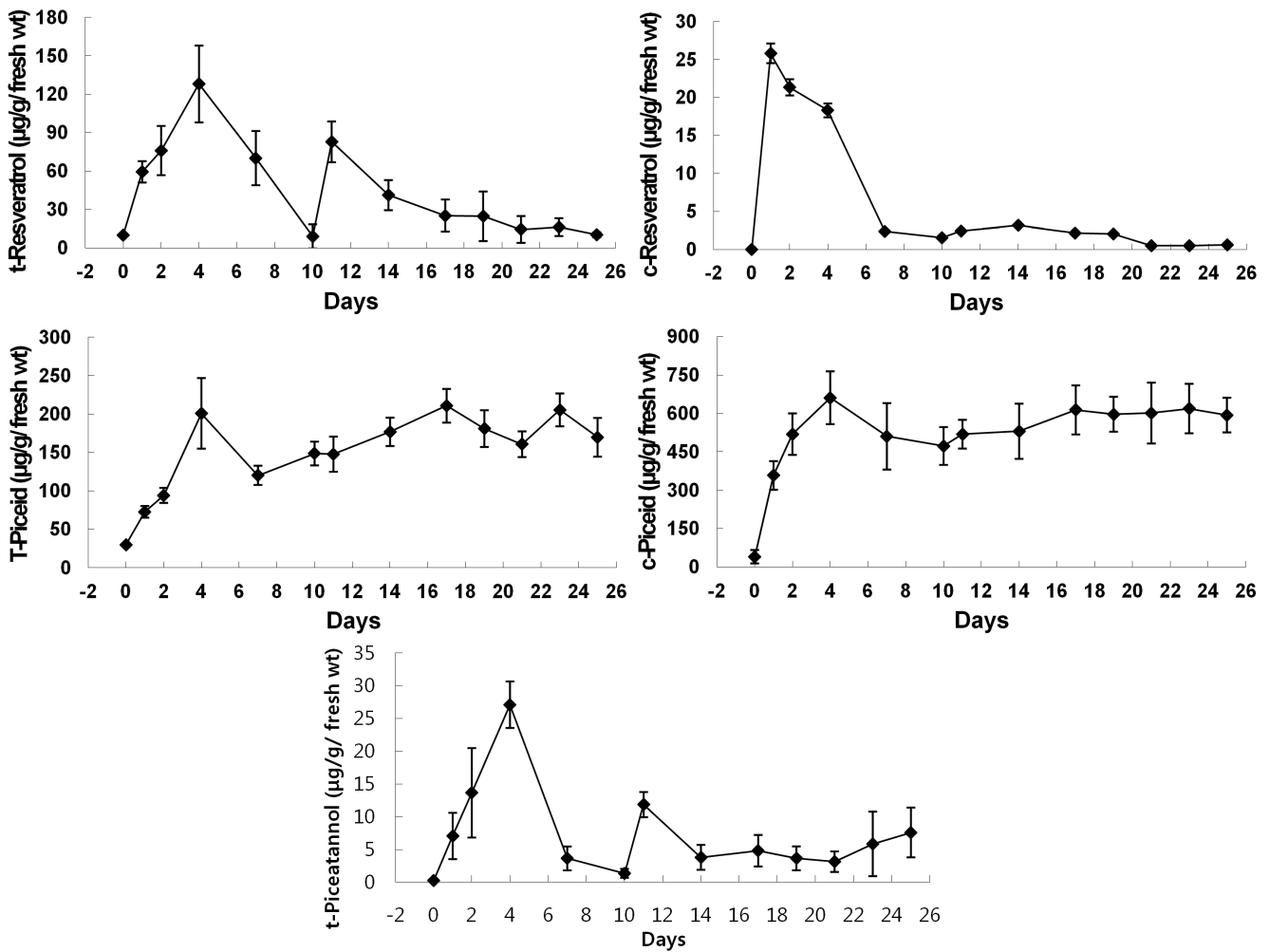


Fig. 2. The changes of stilbene contents in grape leaves irradiated twice with UV for 2 min respectively. The experiment was carried out early in June. Arrows indicate each time of UV irradiation. Vertical bars show SE (n = 5).

다. 주요 stilbene 화합물의 함량은 0.5-2분간 자외선을 조사 하였을 때 조사 시간의 증가와 더불어 증가하는 경향을 보였다(Fig. 1). 그러나 자외선의 과도한 조사는 포도 잎에 장해를 유발하여 갈변 또는 흑색 반점의 형성을 유발하므로 (Choi, 2011), stilbene 함량 증진을 위한 적정 자외선 조사 시간은 2분 이내일 것으로 생각된다. 한편 자외선 조사에 따른 stilbene 함량의 경시적 변화를 보면, trans/cis-resveratrol 과 piceatannol의 함량은 자외선 조사 3일 이내에 자외선 조사 이전에 비해 각각 80배, 22배, 51배 증가하여 정점을 이루었으며 그 이후에는 점차 감소하여 약 9일 후에는 거의 본래의 수준으로 낮아졌다. 반면에 trans/cis-piceid의 경우에는 자외선 조사 3-5일 후 자외선 조사 이전에 비해 약 30 배까지 증가한 상태에서 높은 수준의 함량을 상당 기간 동안 지속적으로 유지하였다. 한편, 자외선 조사 후 9일이 경과하여 resveratrol 또는 piceatannol의 함량이 자외선 조사 이전의 수준으로 감소한 시점에 2차로 자외선을 반복 조사한 결

과(Fig. 2), 자외선 조사에 의해 resveratrol과 piceatannol의 함량은 일시적으로 다시 증가하였으나 그 증가 정도는 1차 조사의 경우에 비해 약 절반 수준으로 낮았으며 1일 이후에는 빠르게 재차 감소하는 경향을 보였다. 그러나 resveratrol 또는 piceatannol과 달리 piceid는 반복된 자외선 조사의 영향을 크게 받지 않았으며 이후 약 한달 가까이 지속적으로 높은 수준의 함량이 유지되었다.

Resveratrol과 piceatannol의 합성에 관련된 주된 효소는 phenylalanin ammonia-lyase(PAL)과 stilbene synthase(STS)이다. Phenylpropanoid pathway에서 PAL에 의해 합성된 cinnamic acid는 STS의 기질인 cinnamoyl-CoA 또는 *p*-coumaroyl-CoA로 전환되며, STS는 이들 기질로부터 다양한 종류의 stilbene 화합물을 합성한다(Chong et al., 2009). PAL과 STS는 생물적 스트레스 또는 자외선 조사를 포함한 비생물적 스트레스에 반응하여 활성화되는 것으로 잘 알려져 있는데(Franca et al., 2001; Glaessgen et al., 1998; Leyva et al., 1995; Wang

Table 1. The stilbene contents ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) in leaves on a branch when a specific leaf was exposed to UV.

Leaf number	Treatment	Resveratrol		Trans-piceatannol	Piceid	
		Trans	Cis		Trans	Cis
1 (Base)	S ^z	0.4	0.1	0.0	0.5	3.0
2	S	0.4	0.0	17.9	0.8	5.1
3	S	0.1	4.9	0.0	0.3	2.7
4	UV ^y	285.4	0.0	164.0	34.6	318.1
5	S	0.2	0.0	0.0	0.3	3.2
6	S	0.0	0.0	0.0	0.2	1.1
7	S	0.1	0.0	0.2	0.0	1.1
8	S	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3
9	S	0.0	0.0	1.5	0.0	0.9
10 (Top)	S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8

^zShielded with aluminium foil.

^yExposed to UV.

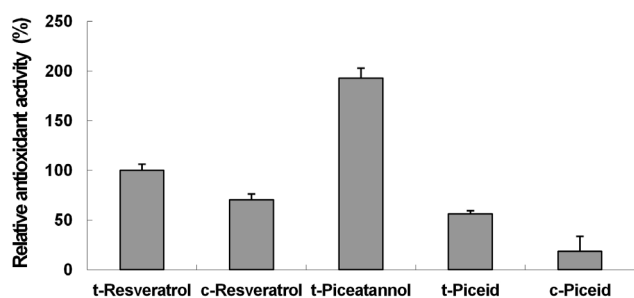


Fig. 3. Relative antioxidant activities (DPPH radical scavenging activity) of stilbenes. Vertical bars show SE (n = 3).

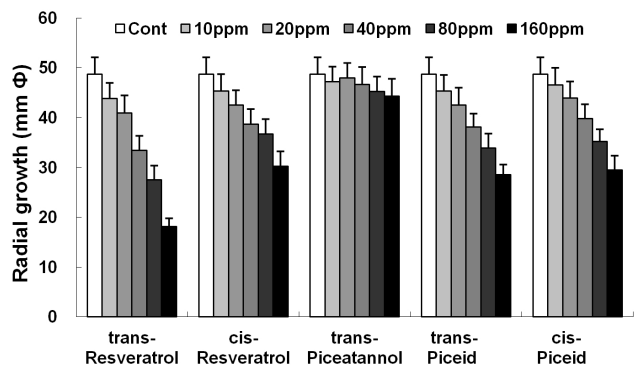


Fig. 4. The growth of *B. cinerea* mycelia at different stilbene concentrations in culture media. Vertical bars show SE (n = 3).

et al., 2010), 특히 Wang et al.(2010)은 본 연구에서와 유사하게 포도 잎에서 자외선 조사에 의해 resveratrol의 함량이 증가 후 감소하였으며 이러한 함량의 변화는 STS의 전사 및 번역의 증감과 일치한다고 보고하였다. 한편 piceid는 resveratrol의 배당체로서 glucosyltransferase에 의해 합성되는데, glucosyltransferase는 기질의 폭이 넓어서 resveratrol을 포함하여 다양한 종류의 phenol 화합물에 작용하여 glucose ester를 생성한다(Chong et al., 2009). 본 연구의 실험 결과

에서 piceid는 자외선 처리 후 포도 잎에 지속적으로 축적되는 양상을 보였는데, 특히 cis-piceid의 경우 매우 높은 수준의 축적량을 보였다(Fig. 2). 따라서 이러한 실험 결과에 비추어 볼 때, 자외선 조사에 의해 포도 잎의 stilbene 생합성 관련 효소의 합성이 유도되어 resveratrol과 piceatannol의 생성이 증가하며 생성된 resveratrol과 piceatannol은 glucosyltransferase에 의해 piceid로 배당체화한 후 궁극적으로 cis형으로 전환되어 포도 잎에 축적되는 것으로 보인다.

한편, stilbene 화합물의 체내 전류 여부를 확인하기 위하여 특정 잎에 한정하여 자외선을 조사한 후 가지에 착생된 모든 잎에서 stilbene 화합물의 함량을 분석한 결과(Table 1), 자외선을 조사한 잎에서만 stilbene이 증가할 뿐 차광 처리한 다른 잎에서는 stilbene이 거의 검출되지 않았다. 이는 stilbene 화합물이 체내 이동성이 없으며, 자외선에 직접적으로 노출된 잎에서만 stilbene의 합성이 증가됨을 보인다.

자외선 조사에 따른 잣빛곰팡이병의 발생

Resveratrol을 포함한 stilbene 화합물의 생리적 활성은 항산화 작용성과 관련이 있는 것으로 알려져 있는데, stilbene 화합물의 라디칼 소거능은 수산기(-OH)의 개수와 상관성이 있다(Lorenz et al., 2003). 따라서 resveratrol의 수산화 유도체인 piceatannol은 resveratrol보다 훨씬 강한 항산화 활성을 가지는 것으로 보고되어 있으며(Lorenz et al., 2003), 이는 본 연구에서도 동일하게 확인할 수 있었다(Fig. 3). 이에 반하여 resveratrol의 배당 유도체인 piceid는 resveratrol에 비하여 항산화 활성이 낮았으며, 또한 cis형의 stilbene은 trans형의 isomer에 비하여 항산화 활성이 더욱 낮은 경향을 보였다. 그러나 이러한 경향은 stilbene 화합물의 *B. cinerea*의 성장에 미치는 영향과 일치하지 않았는데, *B. cinerea*의 균사

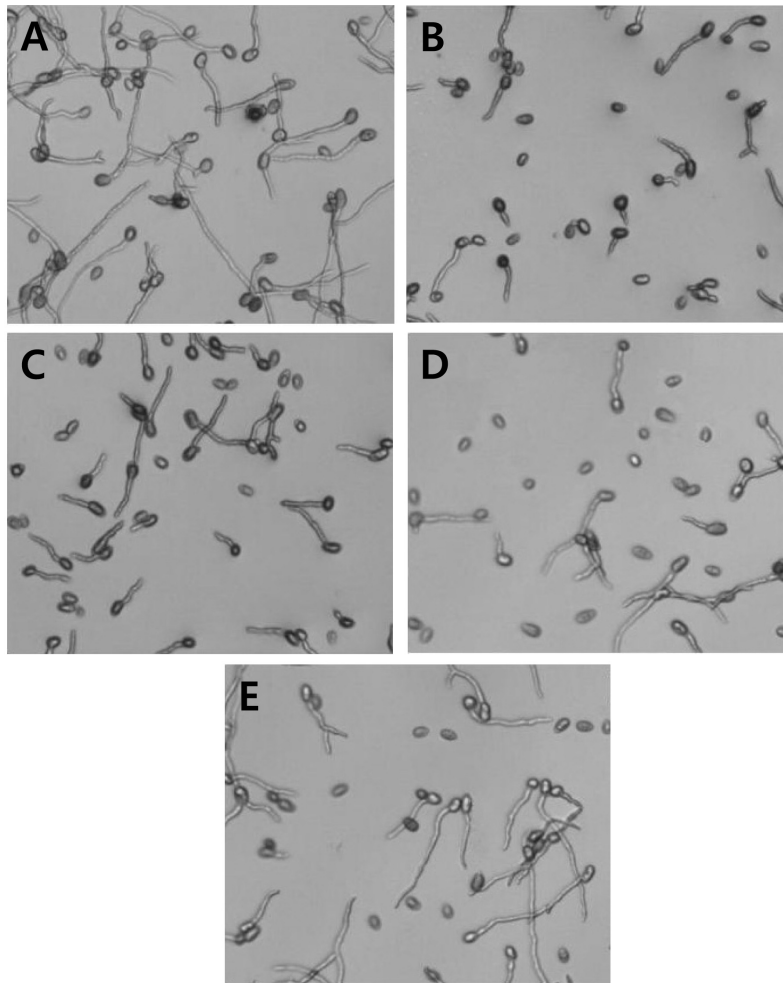


Fig. 5. The germination of *B. cinerea* conidia at different stilbene concentrations in broth media. A, control (without stilbene); B, 40 ppm trans-resveratrol; C, 40 ppm cis-resveratrol; D, 160 ppm trans-piceid; E, 160 ppm cis-piceid.

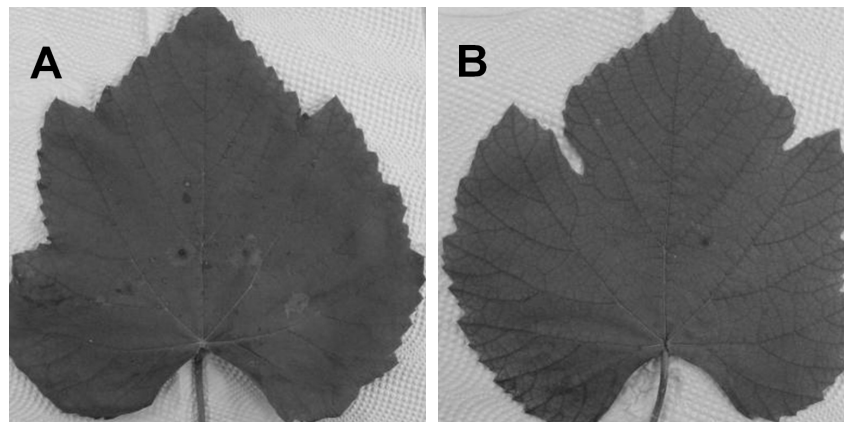


Fig. 6. The formation of necrotic spot on control (A) and UV irradiated (B) leaf after challenge with *B. cinerea*. Conidial spores of *B. cinerea* were infused at 4 positions on a leaf, a day after UV irradiation for 2 min on the middle of April.

생장은 resveratrol에 의해 가장 크게 억제된 반면 piceatannol은 거의 억제 효과를 나타내지 않았으며, cis-resveratrol은 trans형에 비하여 억제 효과가 비교적 낮기는 하나 piceid에서는 두 종류의 isomer 간에 큰 차이는 나타나지 않았다(Fig.

4). 한편 stilbene 화합물의 *B. cinerea* 포자 발아에 대한 억제 효과를 비교한 결과(Fig. 5), 40ppm의 trans/cis-resveratrol의 농도 조건에서 각각 52.3%(± 5.2)와 58.6%(± 4.8), 160ppm의 trans/cis-piceid에서 각각 65.7%(± 7.2)와 70.6%(± 6.1)

의 포자가 발아하는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 비록 stilbene 화합물의 종류에 따라 *B. cinerea*의 생장에 미치는 영향에서 약간의 차이는 있으나, stilbene 화합물은 종류를 막론하고 전반적으로 *B. cinerea*의 포자 발아 및 균사 생장을 억제하는 작용이 있음을 보인다. 즉, stilbene 화합물은 trans-resveratrol, cis-resveratrol, trans-piceid, cis-piceid의 순으로 *B. cinerea*의 생장을 억제하는데, piceid는 resveratrol과 동일한 수준의 성장 억제 효과를 보이기 위해서는 4배 이상의 농도가 요구될 것으로 생각된다. 그러나 포도 잎에 자외선을 조사할 경우 piceid 함량이 수십 배 증가한 점에 비추어 볼 때(Fig. 1), resveratrol 뿐만 아니라 piceid 역시 자외선 조사 앞에서 *B. cinerea*의 성장 억제에 기여할 수 있을 것으로 추측된다. Stilbene 화합물의 이러한 *B. cinerea* 성장 억제 효과는 자외선을 조사한 포도 잎에 *B. cinerea*를 접종한 후 괴사 반점의 크기 변화를 조사한 실험을 통하여 다시 한번 확인할 수 있었다(Fig. 6). 즉, 무처리 앞에서는 접종 부위의 90%에서 괴사 반점이 형성되었고 괴사 반점의 직경은 21mm(± 9.2)인 반면, 자외선을 조사한 앞에서는 괴사 반점 형성 비율이 60%로 낮았으며 또한 괴사 반점의 크기도 7mm(± 4.6)로 축소되었다. 이러한 결과는 포도 잎에 자외선을 조사할 경우 *B. cinerea*의 포자 발아가 억제될 뿐만 아니라 발아한 포자의 균사 성장 또한 억제되기 때문일 것으로 추측된다.

이상의 결과를 종합적으로 고려하여 볼 때, 자외선 조사는 포도에서 *B. cinerea*에 의한 잣빛곰팡이병의 발생을 억제하는 수단으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 자외선 조사의 효과는 포도 잎의 stilbene 함량 변화와 관련이 있어 보인다. 다만, stilbene은 체 내 이동성이 거의 없으므로 자외선 조사에 의한 병 예방 효과를 기대하기 위해서는 포도 수관의 모든 잎에 자외선을 균일하게 조사하는 방법의 도입이 필요할 것으로 생각된다.

초 록

포도 잎에서 병 발생을 경감하기 위한 수단으로 자외선의 활용 가능성을 확인하기 위하여, 자외선을 조사한 포도 잎에서 stilbene 화합물의 함량 변화와 *Botrytis cinerea* 생장의 차이를 조사하였다. 자외선의 조사는 포도 잎에서 resveratrol, piceatannol, piceid의 함량을 크게 증가시켰으며, 특히 resveratrol과 piceid는 *B. cinerea*의 포자 발아와 균사 생장을 억제하는 효과를 보였다. 자외선 조사에 의해 포도 잎에 축적되는 resveratrol과 piceid의 농도는 *B. cinerea*의 생장을 억제하기에 충분할 것으로 생각되며 자외선을 조사한 포도 잎에 *B.*

*cinerea*의 포자를 접종하였을 때 괴사 반점의 형성이 억제되는 것으로 나타났다. 그러나 stilbene 화합물은 체내 이동성이 거의 없고 자외선에 직접 노출된 잎에서만 함량이 증가하므로 병 발생 경감의 수단으로 자외선을 활용하기 위해서는 수관 전체에 자외선을 균일하게 조사하는 방법의 도입이 필요해 보인다.

추가 주요어 : *Botrytis cinerea*, 병 예방, 괴사이드, 레스베라트롤

인용문헌

- Baur, J.A. and D.A. Sinclair. 2006. Therapeutic potential of resveratrol: The in vivo evidence. *Nat. Rev. Drug Discov.* 5:493-506.
- Byun, H.J. and S.J. Choi. 2003. Suppression of post-harvest grey mold rot incidence in strawberry by field application of hydrogen peroxide. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:859-862.
- Choi, S.J. 2011. The identification of stilbene compounds and the change of their contents in UV-irradiated grapevine leaves. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:374-381.
- Chong, J., A. Poutaraud, and P. Huguency. 2009. Metabolism and roles of stilbenes in plants. *Plant Sci.* 177:143-155.
- Franca, S.C., P.G. Roberto, M.A. Marins, R.D. Puga, A. Rodrigues, and J.O. Pereira. 2001. Biosynthesis of secondary metabolites in sugarcane. *Genet. Mol. Biol.* 24:243-250.
- Glaessgen, W.E., A. Rose, J. Madlung, W. Koch, J. Gleitz, and H.U. Seitz. 1998. Regulation of enzymes involved in anthocyanin biosynthesis in carrot cell cultures in response to treatment with ultraviolet light and fungal elicitors. *Planta* 204:490-498.
- Gonzales-Laredo, R.F., J. Chaidez-Gonzalez, A.A. Ahmed, and J.J. Karchesy. 1997. A stilbene xyloside from *Holodiscus discolor* bark. *Phytochem.* 46:175-176.
- Hanawa, F., S. Tahara, and J. Mizutani. 1992. Antifungal stress compounds from *Veratum grandifolium* leaves treated with cupric chloride. *Phytochem.* 31:3005-3007.
- Hart, J.H. 1981. Role of phytochemicals in decay and disease resistance. *Ann. Rev. Phytopathol.* 19:437-458.
- Jang, M., L. Cai, G. Udeani, K. Slowing, C. Thomas, C. Beecher, H. Fong, N. Farnworth, A. Kinghorn, R. Mehta, R. Moon, and J. Pezzuto. 1997. Cancer chemopreventive activity of resveratrol, a natural product derived from grapes. *Science* 275:218-220.
- Jansen, M.A.K., K. Hectors, N.M. O'Brien, Y. Guisez, and G. Potters. 2008. Plant stress and human health: Do human consumers benefit from UV-B acclimated crops? *Plant Sci.* 175:449-458.
- Jeandet, P., M. Sbaghi, R. Bessis, and P. Meunier. 1995. Production of the phytoalexin resveratrol in grapes as a response to *Botrytis* attack under natural conditions. *J. Phytopathol.* 143:135-139.
- Korhammer, S., F. Reniero, and F. Mattivi. 1995. An oligostilbene from *Vitis* roots. *Phytochemistry* 38:1501-1504.
- Lee, N.R. and S.J. Choi. 2009. Contents of resveratrol in different

- parts of various grape cultivars. *Kor. J. Food Preserv.* 16: 959-964.
- Langcake, P. and R.J. Pryce. 1976. The production of resveratrol by *Vitis vinifera* and other members of the Vitaceae as a response to infection or injury. *Physiol. Plant Pathol.* 9:77-86.
- Langcake, P. and R.J. Pryce. 1977. The production of resveratrol and the viniferins by grapevines in response to ultraviolet irradiation. *Phytochemistry* 16:1193-1196.
- Leyva, A., J.A. Jarillo, J. Salinas, and J.M. Martinez-Zapater. 1995. Low temperature induces the accumulation of phenylalanine ammonia-lyase and chalcone synthase mRNAs of *Arabidopsis thaliana* in a light-dependent manner. *Plant Physiol.* 108:39-46.
- Lorenz, P., S. Roychowdhury, M. Engelmann, G. Wolf, and T.F.W. Horn. 2003. Oxyresveratrol and resveratrol are potent antioxidants and free radical scavengers: Effect on nitrosative and oxidative stress derived from microglial cells. *Nitric Oxide* 9:64-76.
- Luckey, T.D. 1980. Hormesis with ionizing radiation. CRC Press, Boca Raton.
- Roh, J.H., H.K. Yun, K.S. Park, Y.J. Choi, S.S. Hong, and S.H. Jeon. 2005. Salicylic acid and resveratrol content changes as affected by Downy Mildew and Anthracnose in grapevine. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 46:59-63.
- Sales, J.M. and A.V.A. Resurreccion. 2009. Maximising resveratrol and piceid contents in UV and ultrasound treated peanuts. *Food Chem.* 117:674-680.
- Shama, G. and P. Alderson. 2005. UV hormesis in fruits: A concept ripe for commercialisation. *Trends Food Sci. Technol.* 16:128-136.
- Sharma, O.P. and T.K. Bhat. 2009. DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chem.* 113:1202-1205.
- Siemann, E.H. and L.L. Creasy. 1992. Concentration of phytoalexin resveratrol in wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 43:49-52.
- Soleas, G.J., E.P. Diamandis, and D.M. Goldberg. 1997. Resveratrol: A Molecule whose time has come? and gone? *Clinical Biochem.* 30:91-113.
- Wang, W., K. Tang, H.R. Yang, P-F. Wen, P. Zhang, H.L. Wang, and W.D. Huang. 2010. Distribution of resveratrol and stilbene synthase in young grape plant (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon) and the effect of UV-C on its accumulation. *Plant Physiol. Biochem.* 48:142-152.
- Waterhouse, A.L. and R.M. Lamuela-Raventos. 1994. The occurrence of piceid, a stilbene glucoside, in grapeberries. *Phytochemistry* 37:571-573.