

## 인삼 적변유기에 대한 폴리페놀과 Polyphenol Oxidase의 잠재적 역할

임태교 · 박홍우 · 황용수 · 최재을<sup>†</sup>

충남대학교 농업생명과학대학 식물자원학부

### Potential Role of Polyphenolics and Polyphenol Oxidase on the Induction of Browning in Ginseng Roots

Tae Kyo Lim, Hong Wu Park, Yong Soo Hwang, and Jae Eul Choi<sup>†</sup>

Division of Plant Resources, Graduate School Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

**ABSTRACT** This study was conducted to investigate the potential of polyphenols and polyphenol oxidase activity on the induction of rusty symptom development in ginseng root. When rusty inducing bacteria were inoculated on fresh ginseng root, the hue value of the inoculated root increased from 101.2 (white yellow) at 1 day after inoculation to 60.9 (brownish red) at 30 days after inoculation. *Lysobacter gummosus*, *Pseudomonas veronii* and *Agrobacterium tumefaciens* enhanced the accumulation of total phenolics. Along with the increase of total phenolics, total activity of polyphenol oxidase concomitantly increased but the specific activity of the enzyme was not.

**Keywords** : polyphenol, polyphenol oxidase activity

인삼의 적변은 처음에 황갈색에서 암적갈색의 작은 반점이 나타나지만, 점차 커지면서 부정형의 대형 반점으로 변하는 경우가 많다. 적변이 진전되면 표피가 거칠어지고 두터워지며, 표피조직이 세로로 갈라지고 부패하기 쉽다. 적변이 발생하면 인삼의 비대생장이 저하되어 수량이 감소하고 홍삼제품의 품질을 저하시키는 원인이 된다(김 등, 1984; 목 등, 1987).

적변이 많이 발생하는 환경으로는 미부숙 유기물의 사용이나 토양이 과습할 때(목과 박, 1981; 목 등, 1982), 염류나 암모니아태 질소 과다(목 등, 1995), 토양의 물리성 불량(목 등, 1996), 예정지 관리 부족(목 등, 1996), 유기질비료(Park et al., 2006a) 등이라고 하였다.

Yang et al.(1997), Yun & Yang(2000)에 의하면 적변

현상은 갈색의 착화합물을 형성할 수 있는 토양 및 인삼의 성분과 미생물의 작용에 의해 유발된다고 하여 미생물이 적변현상에 관여하고 있음을 시사하였다. Choi et al.(2002), Choi et al.(2005)은 적변부위에는 다량의 세균이 존재하고, 적변을 유발시키는 세균에는 *Agrobacterium tumefaciens*, *A. rhizogenes*, *Burkholderia phenazinium*, *Ensifer adharens*, *Lysobacter gummosus*, *Microbacterium luteolum*, *M. oxydans*, *Pseudomonas marginalis*, *P. veronii* 등이 포함된다고 하였고, 묘삼을 소독하면 적변이 감소한다고 하였다(Park et al., 2006b).

과일의 흑변은 주로 효소적 갈변에 의해 발생하며 기본적으로 초기에는 산소가 존재하는 조건에서 polyphenol oxidase (PPO)와 peroxidase(POD) 등에 의한 내생 페놀 화합물의 효소적 산화 작용으로 인해(Gauillard & Richard, 1997), 페놀 화합물이 산화되고 이로 인해 형성된 O-quinones 물질이 중합하여 난용성의 갈색 색소(melanines)가 형성된다. 그리고 갈변 부위의 확장은 산소와 내생 페놀 및 PPO의 함량에 영향을 받는다(Nicolas et al., 1994; Williams et al., 1985). 또한 페놀 화합물의 축적은 내부 조직보다 외부 조직인 표피와 sub-epidermal layers에 더 많이 축적된다고 하였다(Bengoechea et al., 1997). 인삼의 적변은 근권의 토양환경이 불량하여 인삼이 stress를 받으면 인삼은 자기 방어 기작으로 페놀성 물질을 외피에 축적되어 lignin화 또는 suberin화 되며, 이 때 인삼외피에 흡수된 철 또는 토양 중의 철이온이 페놀성 물질과 킬레이트 되면서 이들 물질이 산화 또는 건조되고 염기성을 나타내면서 적색을 띠는 것으로 추정된다고 알려져 있다(목 등, 1996).

이상과 같이 인삼의 적변의 기작은 아직까지 정확히 밝혀지지 않았지만 그 증상이 과일의 흑변과 유사하므로 poly-

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-42-821-5729  
(E-mail) choije@cnu.ac.kr <Received June 11, 2007>

phenol 및 PPO와 관련이 있을 것으로 추정된다. 따라서 본 연구는 적변 발생과 polyphenol 함량 및 polyphenol oxidase 활성과의 관계를 구명하여 이들 생리적 현상과 인삼의 적변과의 관계를 밝히고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 사용재료 및 균주

본 시험에 사용한 적변삼과 건전삼은 금산수삼센터에서 구입하여 사용하였다. 적변삼 유발용 균주는 충남대학교 농업생명과학대학 식물자원학부 내병성육종학 실험실에서 분리한 31균주 중에 적변을 강하게 유발시키는 *L. gummosus* (CG20113), *P. veronii*(CG20123) 그리고 *A. tumefaciens* (CG20126) 균주를 사용하였다.

### 접종방법

초저온 냉장고에 보관중인 균주를 King's B(bacto peptone 20 g,  $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$  1.5 g,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  1.5 g, glycerol 15 ml, 증류수 1 l; KBA) 배지에서 24시간 진탕 배양한 후 멸균수로  $10^8$  cfu/ml과  $10^4$  cfu/ml의 두 가지 농도로 희석하여 접종원으로 사용하였다.

적변삼을 유발하기 위하여 4년 근의 건전삼 표면을 sand paper로 상처를 내고 접종하였다. 접종한 인삼은 멸균한 상토를 넣은 10×20 cm의 원통형 플라스틱 용기에 심고 원통 위와 아래를 멸균한 알루미늄 호일로 밀폐시켜 수분의 증발을 막아 25°C의 암상태에 두었다.

### Polyphenol 함량 조사

적변삼과 건전삼의 표피조직 2 g을 원심분리 tube에 넣고, 10% ascorbic acid를 1 ml 첨가한 다음, 80% ethanol 10 ml를 첨가하여 2분 동안 마쇄하였다. 마쇄물은 60°C 수조에서 30분간 진탕한 후, 원심분리(15,000 rpm, 20분, 20°C)하여 상정액을 falcon tube에 담아 total volume을 40 ml로 정량하여 분석시료로 사용하였다. 총 페놀 측정은 시료 1 ml에 증류수 8 ml을 첨가하여 9 ml로 추출액을 희석하고 phenol reagent(Hayashi, Japan) 1 ml을 첨가하여 vortexing 한 후, 5분 후에 50°C sodium carbonate 1 ml(35%)를 넣고 vortexing 하고 발색시킨 다음, 2시간이 지난 뒤 725 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 catechin을 이용하였다.

### Polyphenol oxidase(PPO) 활성 측정

조효소액을 추출하기 위해 적변부위와 건전부위의 표피

를 각각 3 g씩을 취하여 0.05 M phosphate buffer(pH 6.8) 10 ml를 첨가하여 마쇄한 후, phosphate buffer 10 ml로 1차 세척하고 5 ml로 마무리 세척하였다. 마쇄물은 원심분리(30 min, 15,000 rpm, 0°C)하여 상정액을 조효소액으로 삼았다. PPO 활성은 Wong(1971)의 방법을 변형하여 조사하였다. 반응액은 조효소 0.2 ml, 0.05 M citrate buffer(pH 6.8) 2.6 ml 기질로 동일한 완충액에 녹인 1.25% pyrogallol 0.2 ml을 넣어 30분 동안 반응시킨 다음 450 nm에서 흡광도를 측정하였다.

단백질의 함량은 조효소 시료 0.1 ml에 BCA(bicinchoninic acid solution; copper sulfate = 50:1) 2.0 ml을 혼합하여 섞은 다음, 37°C water bath에서 30분간 shaking(rpm 30)한 후 상온으로 식혀 562 nm에서 흡광도를 측정하였다. PPO(Polyphenol oxidase) 활성은  $\Delta OD(450 \text{ nm}/\text{mg} \cdot \text{protein}/\text{min})$ 으로 나타냈다.

### 적변삼의 색도 조사

적변의 심화 정도에 따른 색도는 Color difference meter (CR-200. Minolta. Japan)를 사용하여 개체별로 적변부위에서 3군데를 측정하여 Hunter L, a, b값을 얻고, Hue 값(Hue angle)을 조사하였다.

## 결과 및 고찰

### 적변의 유발

적변삼에서 분리한 *A. tumefaciens* 균주를 접종하여 1, 10, 20, 30일 후에 색도계를 이용하여 적변정도를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 접종 1일 후의 Hue 값은 101.2이고, 10일 후는 95.9, 20일 후는 90.1, 30일 후는 60.9로 건전삼 106.0

**Table 1.** Effect of artificial inoculation on the incidence of rusty symptom in ginseng roots.

Days after inoculation	a <sup>†</sup>	H <sup>‡</sup>
Sound	-12.4	106.0
Natural-rusty root	36.8	44.7
1	-6.2	101.2
10	-2.9	95.9
20	-1.7	90.1
30	28.4	60.9

<sup>†</sup> a value : green (-) ↔ yellow ↔ red (+),

<sup>‡</sup> Hue angle (°) =  $[ATAn(b/a2\pi) \times 360 \rightarrow 0^\circ = \text{red-purple}, 80^\circ = \text{bluish-green}, 90^\circ = \text{yellow}, 270^\circ = \text{blue}]$

에 비하여 Hue 값이 크게 감소하여 적색이 짙어진 결과를 보였다. 그러나 자연 발병된 적변의 Hue 값은 44.7로 인공 접종한 Hue 값보다 낮게 나타났다. 이러한 차이는 자연 발생한 적변삼은 몇 개월에서 수 년 동안 진행된 것이고, 인공접종은 30일 후에 측정하였기 때문으로 정도의 차이가 있었을 것으로 생각된다.

*A. tumefaciens* 균주를 접종하여 적변이 유발된 인삼은 Fig. 1과 같다. 접종 후 일수가 증가할수록 적변정도가 심해지는 것을 육안으로도 확인할 수 있었으며, 시간이 경과할수록 갈변하여 E와 같이 자연 상태에서 적변이 심하게 유발되어 사진과 비슷한 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

**적변삼의 polyphenol 함량**

건전삼과 자연적으로 발병된 적변삼의 phenol 함량을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 건전인삼의 페놀 함량은 97.68 (mg/g·FW)이며 적변이 약한 인삼은 117.97, 심한 인삼은 129.03 으로 적변 정도가 심해질수록 총페놀 함량이 증가함을 알 수 있었다.

**인공 접종한 인삼의 polyphenol 함량 변화**

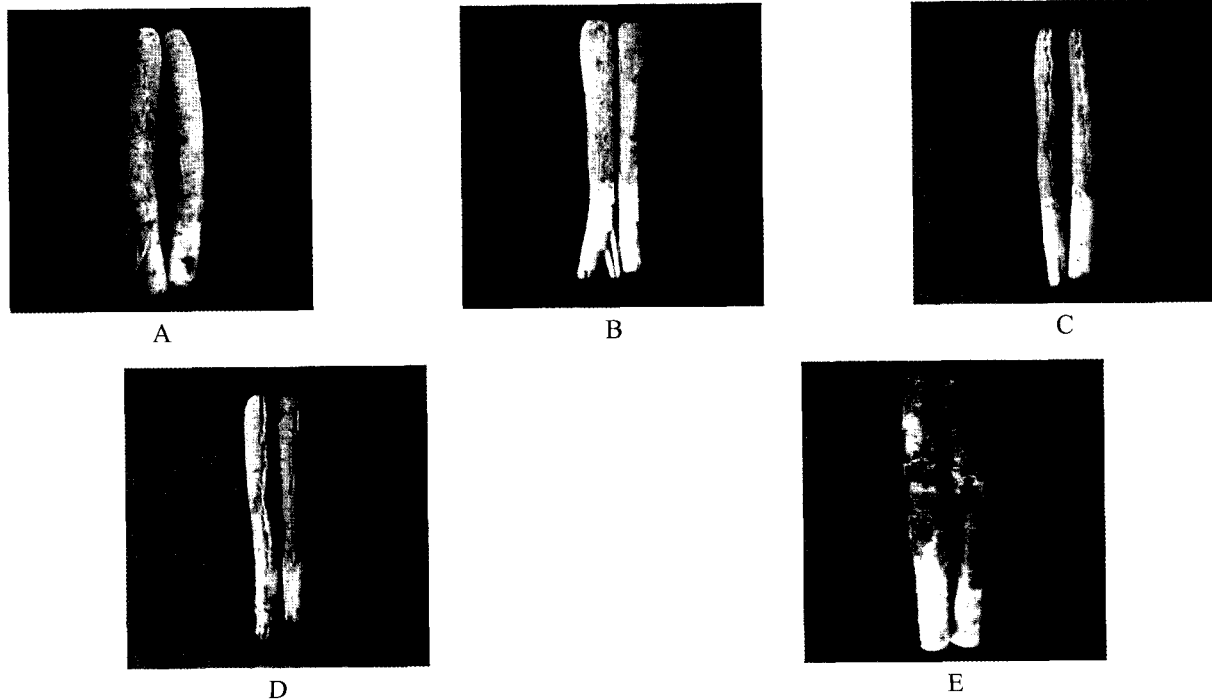
*L. gummosus*, *P. veronii* 및 *A. tumefaciens*를 인공 접종

하여 유발된 적변삼의 폴리페놀 함량은 Table 3과 같다. *L. gummosus* 균주를 접종하여 1, 5, 10, 20, 30일 후의 페놀함량을 비교하였을 때, 접종 1일 후에 조사한 페놀함량은 80.00(mg/g·FW)이었고, 무접종구는 76.87로 3.13(mg/g·FW) 많았으며 접종 5일 후에는 무접종구의 페놀함량이 77.42이고, 접종 인삼의 페놀함량은 80.18로 조사되어 2.76이 증가하였다. 또한, 접종 10일 후에는 무접종구의 페놀함량이 79.82, 접종 인삼의 페놀함량은 83.87로 4.05(mg/g·FW) 많았다. 접종 20일 후에는 무접종구의 페놀함량이 80.55이고, 접종인삼의 페놀함량은 86.82로 무접종구에 비하여 6.27 많았고 접종 30일 후에는 무접종구의 추출액의 페놀함량은 83.32, 접종인삼의 페놀함량은 94.75로 무접종구에 비하여 11.43(mg/g·FW) 많았다.

*P. veronii* 균주를 접종하여 1, 5, 10, 20, 30일 후의 페놀함

**Table 2.** Comparison of total phenolics as influenced by rusty disorder in ginseng roots.

Ginseng condition	Phenolics (mg/g·FW)
Sound	97.68 ± 1.36
Lightly affected	117.97 ± 1.63
Heavily affected	129.03 ± 1.25



**Fig. 1.** Rusty symptom of ginseng roots induced by artificial inoculation of *A. tumefaciens* isolated from rusty ginseng roots. A, B, C, and D were the result of 1, 10, 20 and 30 days after inoculation, and E was that of natural-rusty ginseng.

량을 비교한 결과, 접종 1일 후에 조사한 페놀함량은 83.32 이었고, 무접종구는 79.45로 3.87(mg/g·FW) 많았으며 접종 5일 후에는 무처리구의 페놀함량이 82.95이고, 접종 인삼의 페놀함량은 85.53으로 조사되어 2.58(mg/g·FW)이 많았다. 또한, 접종 10일 후에는 무접종구의 페놀함량이 89.03, 접종 인삼의 페놀함량은 95.30으로 6.27(mg/g·FW) 많았다. 접종 20일 후에는 무접종구의 페놀함량이 91.61이고, 접종인삼의 페놀함량은 96.59로 무접종구에 비하여 4.98(mg/g·FW) 많았고 접종 30일 후에는 무접종구의 추출액의 페놀함량은 96.59, 접종인삼의 페놀함량은 105.44로 무접종구에 비하여 8.85(mg/g·FW) 많았다.

*A. tumefaciens* 균주를 접종하여 1, 5, 10, 20, 30일 후의 페놀함량을 비교한 결과, 접종 1일 후에 조사한 페놀함량은 84.98이었고, 무접종구는 81.11로 3.87(mg/g·FW) 많았으며 접종 5일 후에는 무접종구의 페놀함량이 83.13이고, 접종인삼의 페놀함량은 87.56으로 조사되어 4.43(mg/g·FW)이 많았다. 또한, 접종 10일 후에는 무접종구의 페놀함량이 87.00, 접종 인삼의 페놀함량은 89.59로 2.59(mg/g·FW) 많았다. 접종 20일 후에는 무접종구의 페놀함량이 87.56이고, 접종인삼의 페놀함량은 91.06으로 무접종구에 비하여 3.50(mg/g·FW) 많았고 접종 30일 이후에는 무접종구 추출액의 페놀함량은 90.51, 접종인삼의 페놀함량은 105.44로 무접종구에 비하여 14.93(mg/g·FW) 많았다. 이상과 같이 적변 유발균의 접종에 의한 페놀함량은 증가하였으나 증가 폭은 일정하지 않았다. 이러한 결과는 실험 재료로 사용한 인삼의 개체 간의 성분의 차이가 미생물의 증식 및 페놀 합성 등에 영향을 주었을 것으로 생각된다. Table 2의 무접종구와 Table 3의 무접종구 페놀함량의 차이는 시험에 사용한 인삼의 년수, 재배조건, 수확 후 기간 등이 다른데 기인되는 것으로 생각되며 Table 3에서 무접종구의 페놀함량이 계속 증가한 것은 표피에 상처를 주었기 때문이라고 생각된다.

일반적으로 식물뿌리의 외피 중에는 지질물질이 축적되는데, 주로 지질성 물질이 폴리페놀과 결합되어 있는 suberin 이라는 것(Tipett & O'Brien, 1976)과 적변삼 외피중에는 lignin 및 suberin 함량이 특히 많고(Lee *et al.*, 1995) 지질물질과 페놀물질이 건전삼에 비하여 적변삼에서 많이 검출되는 것으로 보아 적변화는 suberin화와 깊은 관련이 있는 것으로 보고 되었다(Lee, 2002).

CG20126 균주를 접종한 후, 각각 1, 10, 20, 30일이 지난 후에 ethanol로 추출한 용액은 Fig. 2와 같다. 접종 일수가 증가할수록 페놀함량이 증가한 것과 같이 육안으로도 갈변정도가 확인할 수 있을 만큼 짙은 농도로 변화되었다.

#### 적변에 의한 폴리페놀 옥시다제의 활성 변화

적변삼과 건전삼의 폴리페놀 산화효소(PPO)의 활성을 비교한 결과는 Table 4와 같다. 자연 상태에서 발생한 적변삼의 PPO 활성은 0.044로 건전삼 0.087에 비하여 활성이 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 인공 접종한 적변삼의 PPO 활성이 0.040, 무처리의 활성은 0.085로 접종한 적변삼이 활

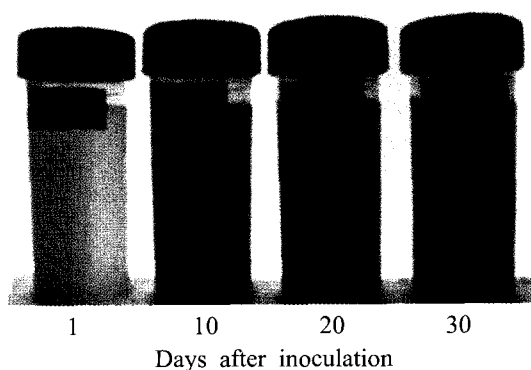


Fig. 2. Color of 80% ethanol extracts from induced rusty ginseng roots by inoculated with *A. tumefaciens* (CG20126) isolate.

Table 3. Changes of total phenol contents in rusty ginseng roots induced by artificial inoculation with three isolation, *L. gummosus* (CG20113), *P. veronii* (CG20123) and *A. tumefaciens* (CG20126). Phenolics (mg/g·FW)

Isolate	Days after inoculation				
	1	5	10	20	30
CG20113	80.00 ± 1.83	80.18 ± 1.76	83.87 ± 1.56	86.82 ± 1.61	94.75 ± 1.07
Control	76.87 ± 1.33	77.42 ± 2.22	79.82 ± 1.34	80.55 ± 1.93	83.32 ± 1.14
CG20123	83.32 ± 2.00	85.53 ± 2.31	95.30 ± 1.58	96.59 ± 2.08	105.44 ± 1.74
Control	79.45 ± 1.76	82.95 ± 1.71	89.03 ± 2.26	91.61 ± 1.33	96.59 ± 2.16
CG20126	84.98 ± 2.27	87.56 ± 2.07	89.59 ± 2.29	91.06 ± 1.79	105.44 ± 2.18
Control	81.11 ± 2.16	83.13 ± 2.22	87.00 ± 2.20	87.56 ± 2.18	90.51 ± 2.83

**Table 4.** Comparison of polyphenol oxidase activity between rusty (2 weeks after inoculation) and sound ginseng roots.

Ginseng root condition	PPO activity		Protein contents (mg/ml)
	(units/ml)	(units/mg·protein)	
Rusty (natural)	0.299 ± 0.008	0.044	6.818 ± 0.057
Sound	0.347 ± 0.006	0.087	4.005 ± 0.025
Rusty (induced by CG20126 inoculation)	0.653 ± 0.014	0.040	16.228 ± 0.367
Untreated	0.403 ± 0.013	0.085	4.738 ± 0.123

**Table 5.** Changes of polyphenol oxidase activities in ginseng roots inoculated by three isolates, *L. gummosus* (CG20113), *P. veronii* (CG20123) and *A. tumefaciens* (CG20126).

Isolate	Days after inoculation	PPO activity		Protein contents (mg/ml)
		(units/ml)	(units/mg·protein)	
CG20113	1	0.969 ± 0.048	0.057	17.0 ± 0.362
	10	1.450 ± 0.027	0.039	37.2 ± 0.669
	20	1.531 ± 0.024	0.039	39.1 ± 0.652
	30	1.167 ± 0.060	0.039	29.7 ± 0.461
CG20123	1	1.089 ± 0.049	0.057	19.1 ± 0.312
	10	1.626 ± 0.019	0.039	41.7 ± 0.657
	20	1.767 ± 0.022	0.039	45.3 ± 0.590
	30	1.334 ± 0.048	0.039	34.2 ± 0.732
CG20126	1	1.157 ± 0.064	0.056	20.5 ± 0.415
	10	1.176 ± 0.030	0.039	45.2 ± 0.283
	20	1.863 ± 0.062	0.039	48.1 ± 0.576
	30	1.406 ± 0.027	0.039	36.0 ± 0.710

성이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 자연 발생한 적변삼은 적변화 기간이 길기 때문에 조직에서 이미 폴리페놀로 변화하였기 때문에 PPO의 활성이 낮고, 인공 접종한 인삼은 세균의 감염으로 폴리페놀이 합성되고 있으므로(표 3) PPO 활성이 무처리에 비하여 크게 증가한 것으로 생각된다. 인공접종 인삼에서 총 PPO의 활성은 증가하나, 단백질당 PPO의 활성이 낮은 것은 세균 내에 단백질이 많기 때문으로 생각된다. 자연 발생한 적변삼과 인공접종 후 2주 후의 적변삼(접종 농도 :  $10^8$  cfu/ml)의 단백질 함량은 각각 6.818과 16.228로 무처리에 비하여 높은 수치를 나타내는 것은 조직 내의 세균밀도가 높기 때문인 것으로 보인다.

과피의 갈변 현상은 페놀 화합물이 산화되어 멜라닌계의 갈색 색소의 축적으로 나타나는데 이러한 산화 반응은 기질로 작용하는 페놀 화합물과 산화 효소간의 상호 작용에 의해서 이루어진다.

적변유발균주인 *L. gummosus*(CG20113), *P. veronii*

(CG20123) 그리고 *A. tumefaciens* (CG20126) 균주를 접종(접종 농도 :  $10^4$  cfu/ml)하여 1일에서 30일이 경과한 후 총 PPO값, 단백질, PPO 활성을 조사한 결과는 Table 5와 같다. *L. gummosus* 적변유발균주를 접종 1일 후에는 PPO값은 0.969이었고, 접종 10일 후에는 1.450이었으며 접종 20일 후에는 1.531로 가장 높게 나타났으며 접종 30일 후에는 1.167 (units/g·FW)로 감소되는 경향이였다. 단백질 함량은 접종 1일 후에는 17.0, 10일 후에는 37.2, 20일 후에는 39.1, 30일 후에는 29.7 mg/ml이었다. 단백질당 PPO 활성은 1일 후 0.057, 10일 후 0.039, 20일 후 0.039, 30일 후 0.039로 나타났다. *L. gummosus* 적변유발균을 접종한 후 10일 후부터는 단백질당 PPO 활성은 더 이상 감소하지 않고 비슷한 수준의 활성을 나타내는 것으로 나타났다. PPO값이 접종 20일 후에 1.531로 가장 높게 나타났으며 30일 후에는 다시 감소하는 경향이였다. 단백질값 또한 CG2013 적변유발균주를 접종하여 조사하였을 때, 20일 후가 가장 높은 39.1로 30일

후에 29.7로 다소 감소하였다.

*P. veronii* 적변 유발 균주를 접종 1일 후에는 PPO값은 1.089였고, 10일 후에는 1.626이었으며 20일 후에는 1.767, 30일 후에는 1.334(units/ml)로 나타났다. 단백질 함량은 접종 1일 후에는 19.1, 10일 후에는 41.7, 20일 후에는 45.3, 30일 후에는 34.2 mg/ml이었다. 단백질당 PPO 활성은 1일 후 0.057, 10일 후 0.039, 20일 후 0.039, 30일 후 0.039로 나타났다.

*A. tumefaciens* 적변유발균주를 접종 1일 후에는 PPO값은 1.157이었고, 10일 후에는 1.176이었으며 20일 후에는 1.863, 30일 후에는 1.406(units/ml)로 나타났다. 단백질 함량은 접종 1일 후에는 20.5, 10일 후에는 45.2, 20일 후에는 48.1, 30일 후에는 36.0 mg/ml이었다. 단백질당 PPO 활성은 1일 후 0.056, 10일 후 0.039, 20일 후 0.039, 30일 후 0.039로 나타났다. CG20126 적변 유발 세균을 접종한 후 10일 후부터는 단백질당 PPO 활성은 더 이상 감소하지 않고 비슷한 수준의 활성을 나타내는 것으로 나타났다. PPO값이 접종 20일 후에 가장 높게 나타났으며 30일 후에는 다시 감소하는 경향이였다. 단백질값 또한 CG2013 적변유발균주를 접종하여 조사하였을 때, 20일 후가 가장 높고 30일 후에 감소하는 경향을 보였다.

적변유발세균의 접종에 의한 폴리페놀 산화효소의 활성의 변화는 적변(갈변)이 심화됨에 따라 세균의 증식으로 단백질의 다량 증식에 의하여 단백질당 폴리페놀 산화효소의 활성은 감소하는 것이 확인되었다.

식물 조직의 갈변반응은 효소에 의한 갈변반응과 효소가 관여하지 않는 비효소적 갈변반응의 두 종류로 대별된다. 인삼의 경우는 효소의 반응에 의해 갈변 및 적변이 일어나며, 이는 polyphenol oxidase에 의한 polyphenol의 산화와 tyrosinase에 의한 tyrosine의 산화에 의한 갈변으로 분류할 수 있다. 효소적 갈변의 기질로서는 catechol, pyrogallol, chlorogenic acid, caffeic acid, tyrosine 등이 있으며, 효소적 갈변에는 반드시 효소, 기질, 산소의 세 가지가 필수적인 요소이다. 사과 등의 과실과 야채류에서 볼 수 있는 갈변으로서는 polyphenol oxidase에 의해 일어난다. Polyphenol oxidase는 catechol 혹은 catechol 유도체인 chlorogenic acid 등이 공기 중의 산소에 의해 quinone 혹은 quinone 유도체로 산화되는 반응을 촉매하며, quinone 등은 계속 산화, 중합 또는 축합되어 흑갈색의 melanin 색소를 형성한다. Polyphenol oxidase는 구리를 함유한 산화효소로서 식물의 종류에 따라 그 성질이 다소 상이하며, dihydroxyphenyl -alanine(DOPA), pyrogallol, catechol, p-hydroxybenzene 등의 기질에 쉽게 작용한다(김 등, 1986).

인삼의 적변화 과정은 토양의 환원과 밀접한 관련이 있으며, 여름 장마기나 집중적 강우로 인한 수일간의 과습상태로 인하여 적변이 유발되었을 때, 이를 토양의 산화환원 전위가 낮아짐에 따라 근 호흡율이 점차 감소되면서 peroxidase와 갈변효소인 polyphenol oxidase의 활성도가 증가되며, 산화환원 전위가 280 mV 이하에서 peroxidase와 polyphenol oxidase의 활성도가 갑자기 저하되었다고 하였는데, 이는 이미 인삼뿌리가 장해를 받아 고사하였거나 죽은 세포로 갈변하였기 때문이라고 보고 되었다(목 등, 1996).

이상의 결과를 고려할 때 인삼의 적변장해는 토양세균에 의한 가해와 이에 반응하는 인삼뿌리의 페놀합성과 산화에 의한 색소 축적과 관련이 있는 것으로 판단된다.

## 적 요

본 연구는 적변 유발 세균에 의해 발생하는 적변삼과 polyphenol 및 polyphenol oxidase 활성과의 관계를 조사하였으며, 이는 다음과 같다.

1. 적변 유발 균주를 상처낸 건전 인삼 외피에 접종하여 무처리구와 비교하였을 때, 접종일수의 증가에 따라 Hue angle값이 접종 후 1일 101.2, 10일 95.9, 20일 90.1, 30일 60.9로 적색으로 변화되었다.

2. *Lysobacter gummosus*, *Pseudomonas veronii* 및 *Agrobacterium tumefaciens* 균주를 인삼의 상처부위에 접종하였을 때, 총페놀의 함량은 일수가 경과할수록 증가하였다.

3. *Lysobacter gummosus*, *Pseudomonas veronii* 및 *Agrobacterium tumefaciens* 균주를 상처낸 인삼에 접종하였을 때 페놀함량의 증가와 함께 효소의 활성이 증가하였으나 단백질당 PPO의 활성은 감소하였다.

## 사 사

이 논문은 농림부 농업기술개발과제(203036-3)의 연구개발비에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 인용문헌

- 김명수, 이종화, 이태수, 배남인. 1984. 인삼의 생리장해에 관한 연구. 인삼연구보고서. pp. 13-94.  
 김명수, 이종화, 이태수, 배남인. 1986. 인삼의 생리장해에 관한 연구. 인삼연구보고서. pp. 797-904.  
 목성균, 반유선, 천성기, 이태수. 1996. 인삼의 생리장해에 관한 연구. 인삼연구보고서(재배분야) : 84-157.

- 목성균, 반유선, 천성기, 이태수, 이성식, 이장은, 박동욱, 전정복, 이정기, 박상오. 1995. 인삼의 생산비 절감 재배 기술 연구. 인삼연구보고서(재배분야) : 3-113.
- 목성균, 김명수, 이종화. 1982. 생리장해에 관한 연구. 인삼연구보고서(재배분야) : 159-186.
- 목성균, 박귀희. 1981. 생리장해에 관한 연구. 인삼연구보고서(재배분야) : 263-269.
- 목성균, 김명수, 홍순근, 이태수. 1987. 인삼의 생리장해에 관한 연구. 인삼연구보고서.
- Bengoechea, M. L., Sancho, A. I., Bartolome, B., Estrella, I., Gomez-Cordoves, C., and Hernandez. M. T. 1997. Phenolic composition of industrially manufactured purees and concentrates from peach and apple fruits. *J. Agr. Food Chem.* 45 : 4071-4075.
- Choi, J. E., J. S. Lee, S. M. Yoon, and S. K. Cha. 2002. Comparison of inorganic elements and epidermis structures in healthy and rusty ginseng. *Korean J. Crop Sci.* 47 : 161-166.
- Choi, J. E., J. A. Ryuk, J. H. Kim, C. H. Choi, J. S. Chun, Y. J. Kim, and H. B. Lee. 2005. Identification of Endophytic Bacteria Isolated from Rusty-colored Root of Korean Ginseng (*Panax ginseng*) and Its induction. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 13(1) : 1-5.
- Gauillard, F. and F. Richard. 1997. Polyphenol oxidases from Williams pear (*Pyrus communis* L., cv. Williams) : activation, purification and some properties. *J. Sci. Food Agr.* 74 : 49-56.
- Lee, S. M. 2002. Antifungal effects of the brown substances produced by interaction between ginseng callus and endophytic bacteria. Chungnam National University MS Thesis. pp. 47.
- Lee, T. S., S. K. Mok, S. K. Cheon, K. J. Choi, and J. Choe. 1995. Chemical components of rusty root of ginseng. *Korean J. Ginseng Sci.* 19 : 77-83.
- Nicolas, J. J., F. Richard, P. Goupy, M. J. Amiot, and S. Y. Auber. 1994. Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 34 : 109-157.
- Park, H. W., E. J. Lee., and J. E. Choi. 2006a. Inhibitory Effect of Disinfectants and Antibiotics on Rusty-root Symptoms in *Panax ginseng* C.A. Meyer. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 14(6) : 336-341.
- Park, H. W., T. K. Lim., C. H. Choi., and J. E. Choi. 2006b. Factors and Cause of Rusty-Ginseng Occurrence. *Korean J. Crop Sci.* 51(5) : 396-400.
- Tipett, J. T. and T. P. O'Brien. 1976. The structure of eucalypt roots. *Aust. J. Bot.* 24 : 619-632
- Williams, D. C., M. H. Lim, O. A. Chen, R. N. angborn, and J. R. Whitaker. 1985. Blanching of vegetables for freezing. Which indicator to choose / *Food Technol.* 40 : 130-140.
- Wong, T. C., B. S. Luh, and J. R. Whitaker. 1971. Isolation of scald in apples with antioxidants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106 : 569-571.
- Yang, D. C., Y. H. Kim, K. Y. Yun, S. S. Lee, J. N. Kwon, and H. M. Kang. 1997. Red-colored phenomena of ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) root and soil environment. *Kor. J. Giseng Sci.* 21 : 91-97.
- Yun, K. Y. and D. C. Yang. 2000. Red-colored phenomena and morphochemical characteristics of red-colored substances in ginseng roots (*Panax ginseng* C.A. Meyer). *Korean J. Ginseng Sci.* 24 : 107-112.