

인삼의 적변을 유발하는 세균에 대하여 항균활성을 가지는 방선균 선발 및 동정

한성희¹ · 류동걸¹ · 최승현¹ · 최재을² · 안길환^{1*}

Screening and Identification of Antibacterial Actinomycetes against Bacteria Causing Rusty Root on Ginseng

Sung-Hee Han¹ · Dongkul Ryu¹ · Seung-Hyun Choi¹ · Jae Eul Choi² · Gilhwan An^{1*}

ABSTRACT

Rusty root, the browning disease on ginseng, decreases quality and value. Recent studies indicated that endophytic bacteria could be a possible cause of rusty root. *Actinomycetes* antagonistic to the rusty-root-causing bacteria were isolated from soil. Twenty nine out of 932-isolates of *Actinomycetes* from soil showed antibacterial activity against *Agrobacterium tumefaciens* and *Pseudomonas veronii* an endophytic isolate in ginseng. The strongest antibacterial strain(ATO4O104) was classified based on 16S rDNA sequence. The *Actinomycetes* strain, ATO4O104, isolated in soil of USA volcano national park was identified as *Streptomyces adaphospholyticus*. To test plant toxicity, radish seeds were sprouted with the culture of *S. adaphospholyticus* and it did not show any harmful effect. The butanol partition out of n-hexane, ethyl acetate, butanol, and water partions showed the highest antibacterial activity.

Key words: rusty root, *Actinomycetes*, antibacterial activity, ginseng

1. 서론

인삼은 우리나라 고유의 중요한 천연자원으로서, 수천 년 전부터 영약 또는 선약으로 동양의학적으로는 물론 인류의 보건을 위해 오늘날까지 널리 사용되고 있는 한국의 대표적인 생약이다. 부작용과 난치성 질병의 극복에 서양의학이 한계를 보임에 따라, 인삼을 비롯한 생약재에 대한 가치가 새롭게 부각되고 있다(유근춘 등, 2005).

인삼은 대표적인 연작장해 작물로서 한번 재배한 밭에서는 장기간 다시 재배가 불가능하여 이로 인한 생산지를 이동할 수밖에 없는 불편함이 있다(류태석과 권순태, 2008). 이는 긴 생육기간 동안을 동일한 위치에서 자라기 때문에 타 작물에 비하여 토양 특성 등 외부의 영향을 타 작물에 비하여 많이 받는다(강승원 등, 2007). 특히 뿌리 표피에 적갈색 물질이 침적되는 적변현상(rusty root)에 의한 피해는 최근 인삼재배 시 가장 큰 문제가 되고 있다.

인삼의 적변현상은 표피가 붉은색 내지 갈색으로 변색

되는 현상을 말하며 적변삼은 적변이 뿌리의 표피 일부에서 황색 반점으로 시작하여 전 표면으로 번지며 뿌리가 적변이 되면 뿌리의 생육 활성이 낮아지고 세균의 발달이 저하되어 뿌리의 비대 성장이 늦어지는데, 고년근으로 갈수록 심해지며 부패를 유발하기도 한다(김명수 등, 1986; 목성균 등, 1981).

적변현상이 나타나면 인삼은 상품성에 결정적인 영향을 주어 인삼재배 농가소득에 손실을 주고 있는 실정이다. 훈증제를 이용하여 토양을 소독하여 재배한 결과 적변삼의 발생이 감소하였다고 하였지만 그 원인은 알 수 없었으며, 근본적인 방제가 될 수 없다(안용준 등, 1982). 적변현상의 직접적인 발생 원인은 밝혀지지 않았으나 유기산 농도의 증가(김명수 등, 1986), 배수 불량(목성균 등, 1987), 미부숙 유기질 비료 사용(목성균 등, 1981)에 의해 발생된다고 보고되었다. 또한, 최재을 등(2002)은 적변삼 조직에 $2.9 \times 10^6 \sim 3.5 \times 10^7$ CFU/g의 세균이 존재하여 적변을 유발시킨다고 하였으며, 적변삼으로부터 분리된 세균의 동정결과 *Agrobacterium tumefaciens*, *Pseudomonas marginalis*, *P. veronii*, *Microbacterium luteolum*, *M. oxydante*, *Rhodococcus erythropolis*로 밝혀졌다(최재을 등, 2005).

양덕조 등(1997)과 윤길영과 양덕조(2000)에 의하면 적변 현상은 갈색의 착화합물을 형성할 수 있는 토양 및 인삼의 성분과 미생물의 작용에 의해 유발된다고 하여 미생물이 적변현상에 관여함을 시사하였다. 최재을 등(2002)은 적변삼으로부터 세균 32종을 분리하였다. 이들 세균은 적변이 유발된 조직에 다량 존재하며 이후 조직 붕괴현상이

¹ 충남대학교 농업생명과학대학 식품공학과(Dept. of Food Science and Technology, Collage of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

² 충남대학교 농업생명과학대학 응용식물학과(Dept. of Applied Botany, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

* Corresponding author: 안길환

Tel.: +82-42-821-6730 Fax: +82-42-821-6721

E-mail: ghahn@cnu.ac.kr

2010년 5월 16일 투고

2010년 6월 24일 심사완료

2010년 9월 17일 게재확정

나타난다. 따라서 적변을 유발하는 균과 길항관계에 있는 미생물을 찾기 위해서 방선균을 screening 하고 항세균성인 길항미생물균을 통한 생물학적 방제의 방법을 모색하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 사용균주

가. 방선균 배양액

한국생명공학연구원 생물소재연구부 항산화소재연구실에서 2004, 2005, 2006년의 방선균 배양액 932개를 분양 받았다.

나. 인삼의 적변 유발 세균

적변을 일으키고 16S rDNA 염기서열로 분석 및 동정한 세균 32종을 충남대학교 내병성육종학실험실에서 분양 받았으며 분양받은 적변세균 중에 적변 유발도가 가장 심한 CG20126(*Agrobacterium tumefaciens*), CG20213 (*Pseudomonas veronii*)을 선택하여 실험하였다. 적변세균은 King 배지(peptone, 20g; K₂HPO₄, 1.5g; MgSO₄·7H₂O, 1.5g; and glycerol, 15ml; in 1L distilled water)를 사용하여 28℃에서 배양하였다

Table 1. The endophytic bacteria isolated from rusty-root-ginseng, their absorbance maxima, and absorbance of 2-week-old 2g rusty-root extract.

Isolate No.	Identified bacteria	Absorbance	
		maximum (λ_{max})	Abs
CG20101	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	246.50	0.989
CG20102	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	246.50	1.022
CG20103	<i>Variovorax paradoxus</i>	246.50	0.851
CG20104	<i>Pseudomonas marginalis</i>	248.00	0.879
CG20105	<i>Pseudomonas marginalis</i>	246.50	1.020
CG20107	<i>Pseudomonas marginalis</i>	246.50	0.863
CG20108	<i>Microbacterium Oxydans</i>	246.50	0.700
CG20109	<i>Pseudomonas marginalis</i>	246.50	0.836
CG20123	<i>Pseudomonas veronii</i>	245.50	0.809
CG20124	<i>Pseudomonas veronii</i>	212.50	1.152
CG20125	<i>Pseudomonas veronii</i>	245.50	0.566
CG20126	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	244.50	0.469
CG20127	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	221.50	1.052
CG20128	<i>Microbacterium luteolum</i>	240.50	1.111
CG20129	<i>Agrobacterium umefaciens</i>	222.50	0.440
CG20131	<i>Ensifer adhaerens</i>	222.50	0.143
CG20132	<i>Agrobacterium rhizogenes</i>	224.00	1.444

2. 적변 물질의 특성 조사

가. 인삼의 적변부위 추출물

적변삼 껍질 2g을 10ml의 80% EtOH과 ascorbic acid 용액 1ml(distilled water 9ml + ascorbic acid 1g)에 첨가한 후 homogenizer로 균질화하였다. 다시 10ml의 80% EtOH을 첨가한 후 60℃에서 30분간 열처리하였다. 상온에서 원심분리(1800×g) 2번 반복하였다. 상등액을 분리한 후 남아있는 적변 껍질에 위와 같은 방법을 반복하여 추출한 후 40ml로 volume을 맞추어 spectrophotometer(Cary100, Varian, Palo Alto, USA)를 이용하여 측정하였다(임태교 등, 2007)

나. 적변 색소 spectrum 분석

충남대학교 내병성육종학실험실에서 적변삼으로부터 분리한 17종 균주(Table 1)를 4년근의 건전삼의 표면에 sand paper로 문질러 상처내고 접종하여 25℃에서 2주간 둔 다음에 적변이 유발된 부위를 추출하였다(최재을 등, 2005). 추출된 적변 물질을 spectrophotometer를 이용하여 absorption wavelength를 분석 하였다.

3. 적변분리세균에 대한 방선균의 antibacterial activity 조사

가. 방선균 배양

한국생명공학연구원에서 분양 받은 방선균 배양액을 이용하여 항균활성이 있다고 판단된 방선균은 단일 colony를 Bennet 배지(glucose 10.0g; yeast extract 1.0g; peptone 2.0g; beef extract 1.0g; agar 15.20g; in 1L distilled water)에 계대 배양 배양한 후 다시 단일 colony를 G.S.S 배지(soluble starch 10g; glucose 20g; soybean meal 25g; beef extract 1g; yeast extract 4g; NaCl 2g; K₂HPO₄ 0.25g; CaCO₃ 2g; in 1L distilled water; pH 7.2) 50ml를 포함하는 500ml baffled flask에서 150 rpm으로 진탕하며 3일 배양하였다. 이 G.S.S 배지에 방선균 0.5ml를 다시 접종한 후 50ml baffled flask에서 150rpm에서 7일 동안 배양하였다.

나. 항균활성의 측정

적변분리세균을 접종한 petridish에 분양 받은 방선균 배양액으로 적신 filter paper를 놓아 항균활성을 검사하였다. 방선균 배양액을 filter paper disc를 사용하여 disc에 흡수 시킨 후 agar 배지상에서 24-48시간 배양하고 방선균의 항생물질이 고체 배지에서 확산에 의해 시험균의 생육이 저해되는 현상을 관찰하는 방법으로 저항성의 정도인 inhibition zone을 paper disk 지름을 뺀 양쪽의 반지름을 합하여 mm 단위로 측정하였다.

다. Antibacterial activity 방선균 선발 및 배양

Antibacterial activity의 inhibition zone 정도의 크기가 0.7mm 이상인 29종의 방선균을 선발하여 한국생명공학연구원 구소에서 Bennet 배지에 single colony로 분양 받았다. 분양받은 단일 colony를 50ml G.S.S 배지를 500ml baffled flask에서 150rpm, 28℃에서 3일 동안 배양시킨 후, 50ml baffled flask에 0.1ml 접종하여 150rpm, 28℃에서 5일, 6일, 7일, 8일 동안 배양시켰다.

라. 선발 균주 무씨 발아력 테스트

Antibacterial activity 선정된 30개의 방선균에서 방선균 배양액과 acetone 추출 배양액(1:1)을 petridish에 넣고 무씨의 발아 및 자람 정도를 7일간 관찰하여 배양액에 의한 무씨 발아율 및 성장성을 검사하였다.

마. 선발 균주의 동정

16s rRNA의 염기서열을 이용하여 가장 항세균력이 강한 균주(AT040104)의 동정하였다. Bennet배지에서 배양된 방선균 colony를 멸균증류수 5ml 첨가하여 glass beads (0.5mm)와 섞어 homogenizer 이용하여 세포를 파쇄한 후 PCR을 실시하였다. Reaction은 DNA와 Primer(5pmol), bigdye를 넣어 증류수 10ul로 reaction 하였다. PCR 조건은 96℃에서 10초간 initial denaturation 한 후, denaturation annealing 그리고 50℃에서 5초, 60℃에서 4분간 25회 반복하였다. PCR이 끝난 후 반응에 참여하지 않은 형광물질을 EtOH down방식인 acetate와 70%으로 정제하였다. 정제가 끝난 후 증류수에 녹여 DNA Sequencer(3730XL Capillary, Applied Biosystems, CA, USA)를 이용하여 sequence를 얻었다. Sequence의 분석은 GenBank database에 등록된 정보를 대상으로 Blast program(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>)에 의해 실행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 인삼 적변 추출물질의 흡광도 조사

건전삼과 적변삼의 적변추출물의 spectrum을 조사한 결과 적변삼의 적변추출물은 269nm와 285nm의 파장에서 흡광도를 보였다(Fig. 1). 자연 적변삼과 endophytic 세균을 접종하여 적변을 유발시킨 적변성분을 비교해보았을 때 10일, 20일, 30일 적변 유발시킨 적변 추출물의 spectrum 또한 269nm와 285nm의 자외선에서 absorbance를 보였다(Fig. 2).

적변 추출물을 Acetone: EtOH: Chloroform(40:10:50)의 전개용매로 TLC하여 확인한 결과 1일된 적변부터 30일된 적변까지 모두 UV light에서 Rf 0.944 value의 노란색 형광을 나타내는 물질을 적변삼 표피에서 확인할 수 있었다. 이는 천연물질의 flavonoid 예비 실험 결과 적변추출물을

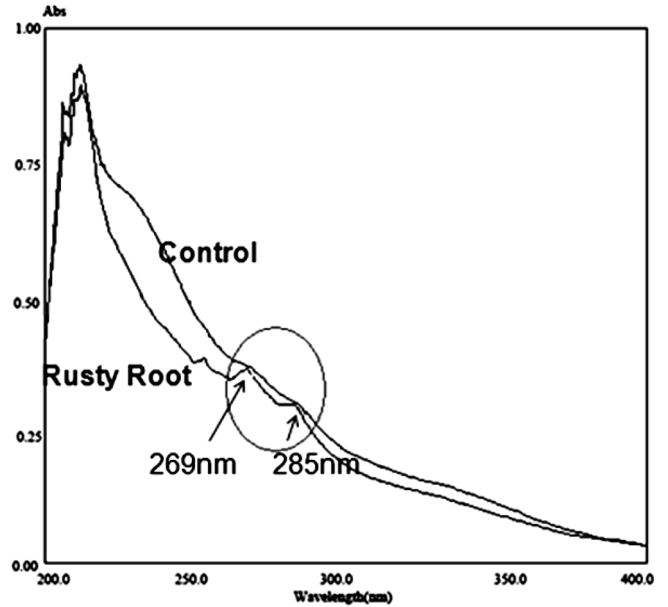


Fig. 1. Absorbance spectrum of rusty root extract.

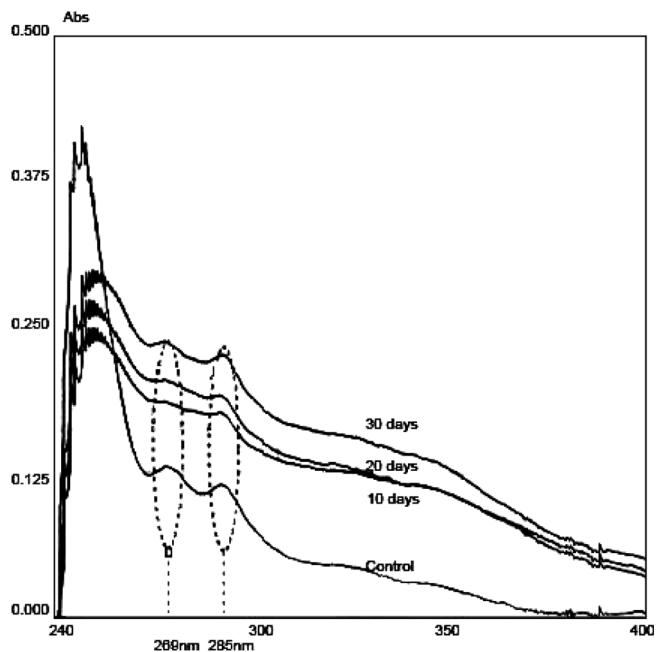


Fig. 2. Accumulation of rusty root materials along with incubation of the endophytic bacteria on ginseng.

MeOH에 녹여 EtOH용액을 1-2 방울 첨가한 결과 자색으로 정색반응을 일으킨 것으로 보아 flavonoid 계열 물질로 추측된다.

2. 적변 세균이 유발한 색소의 spectrum 조사

적변을 유발하는 적변세균 17종을 건전삼에 접종하여 적변을 일으킨 부위의 적변 추출물의 spectrum을 조사한 결과 총 17종의 적변추출물의 최고점 파장과 흡수 spectrum은 비슷한 양상을 보였다(Table 1).

3. 방선균의 항세균 활성 조사 및 선발

인삼의 적변을 유발하는 정도가 가장 강한 균주인 CG20126 (*Agrobacterium tumefaciens*), CG20213(*Pseudomonas veronii*)을 선택하여 932종의 방선균 배양액 길항성 테스트를 실시하였다. 적변유발 세균에 대한 방선균 아세트톤 배양액 932종에 대한 길항성 테스트 결과 1차적으로 활성이 뛰어난 AT050017, A060023, A060040, A060042, ARARE050103, AA050158, AA0161, A060097, A050175, A050225, AN050117, AN050140, AN050144, AT040020, AT040118, AT040031, AT040032, AT040061, AT040066, AT040073, AT040078, AT040100, AT040101, AT040102, AT040104, AT040105, AT040106, AT040107, AT040108 방선균 29

Table 2. The 29 antibacterial *Actinomycetes* out of 932 cultures of provided form Korea Research Institute of Bioscience and Bioengineering.

Strain	CG20123 (cm)	CG20126 (cm)
AT050017	0.00	0.95
A060023	0.40	0.70
A060040	0.40	0.85
A060042	0.40	0.95
ARARE050103	0.50	1.95
AA050158	0.00	1.65
AA0161	0.00	1.40
A060097	0.00	0.70
A050175	0.75	1.20
A050225	0.00	0.90
AN050117	0.00	1.85
AN050140	0.90	0.70
AN050144	1.10	0.85
AT040020	0.00	1.20
AT040118	0.00	1.15
AT040031	0.00	1.20
AT040032	0.15	1.20
AT040061	0.00	1.10
AT040066	0.00	0.85
AT040073	0.15	1.20
AT040078	0.00	0.75
AT040100	0.25	1.10
AT040101	0.30	1.25
AT040102	0.45	1.30
AT040104	0.20	1.15
AT040105	0.25	0.80
AT040106	0.15	0.90
AT040107	0.20	0.70
AT040108	0.40	0.90

종의 균주를 선정하였다(Table 2).

4. 선발 균주의 무씨 발아력 테스트

29종의 항균활성을 갖는 방선균주의 식물 생육 억제 활성의 유무를 측정하였다. Petridish에서 무순 10개의 발아력을 검사한 결과 A060040, A060042, A050175, AT0T0204이 식물 생육 억제활성이 없이 무씨가 발아하였다(Fig. 3).

식물 생육 억제활성이 없는 균주 A060040, A060042, A050175, AT040104를 5일, 6일, 7일 8일 배양 한 결과 AT040104 균주의 antibacterial activity가 가장 높았다 (Fig. 4). 따라서 본 실험의 적변을 일으키는 적변 미생물에 대한 길항성 탐색 결과, AT040104 균주가 가장 적합하였다.

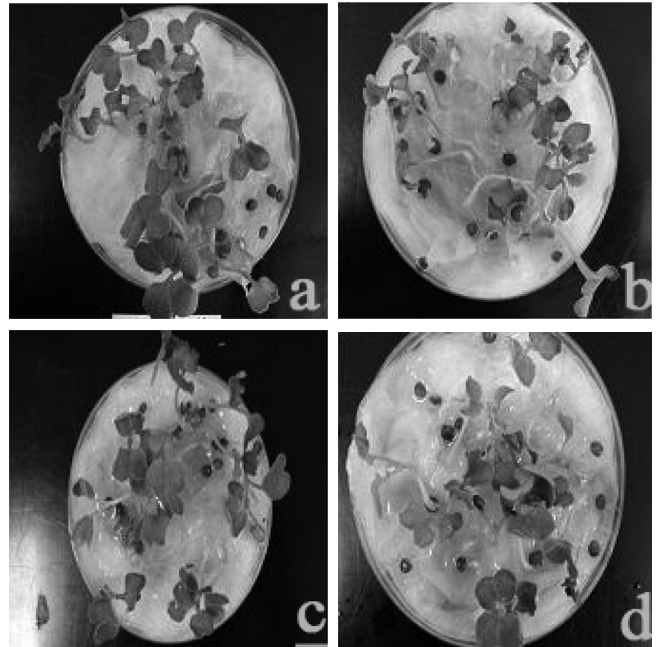


Fig. 3. Plant toxicity test with radish sprouts. a, A060040; b, A060042; c, A050175; d, AT040104.

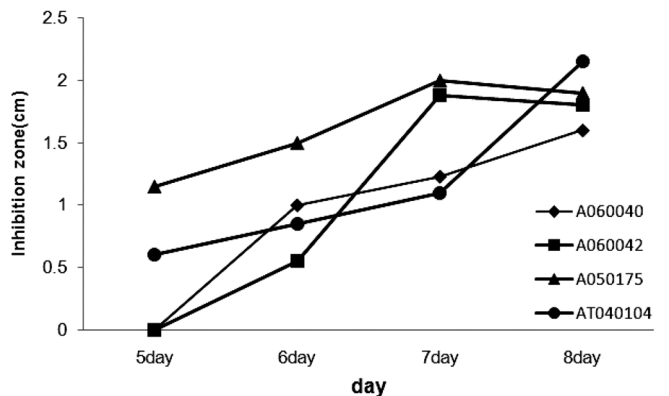


Fig. 4. Antibacterial activity of the selected *Actinomycetes*.

5. 선별 균주 AT040104의 동정

16s rRNA full-length 염기서열을 이용하여 방선균의 동정을 실시하였다. 염기서열은 Table 3과 같았다. 염기서열 상동성 분석은 GenBank database에 등록되어있는 기존의 염기서열과의 비교하였다. 16s rRNA Full 시퀀스를 이용하여 AT040104를 동정한 결과 GenBank database 있는 *Streptomyces adaphospholyticus* 균주(99%)로 결정되었다. *Streptomyces adaphospholyticus* 균주 배양액으로부터 5'-to-3'-pyrophospho-transferring enzyme과 유사한 효소가 발견되며 AT040104균주의 분리원은 미국화산국립공원의 토양이며, 배양온도는 28℃이고 그람양성의 호기성방선균이다.

Table 3. 16s rRNA full sequence of *Actinomycetes* AT040104.

```
TGCTTACCATGCAGTCGAACGATGAAGCCCTTCGGGG
TGGATTAGTGGCGAACGGGTGAGTAACACGTGGGCA
ATCTGCCCTTCACTCTGGGACAAGCCCTGGAACGGG
GTCTAATACCGGATAACACCCCCATCGCATGGTGGG
GGGTAAAAGCTCCGGCGGTGAAGGATGAGCCCGCG
GCCTATCAGCTTGTGGTGGGGTGATGGCCTACCAAG
GCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCGACCGGC
CACACTGGGACTGAGACACGGCCCAGACTCCTACGGG
AGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGAAAG
CCTGATGCAGCGACGCCGCGTGAGGGATGACGGCCTT
CGGGTTGTAAACCTCTTTCAGCAGGGAAGAAGCGAAA
GTGACGGTACCTGCAGAAGAAGCGCCGGCTAACTAC
GTGCCAGCAGCCGCGTAATACGTAGGGCGCAAGCG
TTGTCCGGAATTATGGGCGTAAAGAGCTCGTAGGGC
GCTTGTACAGTCGGATGTGAAAGCCCGGGGCTTAACC
CCGGGTCTGCATTCGATACGGGCTAGCTAGAGTGTGG
TAGGGGAGATCGGAATCTCTGGTGTAGCGGTGAAATG
CGCAGATATCAGGAGGAACACCGGTGGCGAAGGCGG
ATCTCTGGGCCATTACTGACGCTGAGGAGCGAAAGCG
TGGGGAGCGAACAGGATTAGATACCCTGGTAGTCCAC
GCCGTAACGTTGGGAACTAGGTGTTGGCGACATTCC
ACGTCGTCGGTGGCGAGCTAACGCATTAAGTTCCCC
GCCTGGGGAGTACGGCCGCAAGGCTAAAACCTCAAAG
GAATTGACGGGGGCCCGCACAAGCAGCGGAGCATGT
GGCTTAATTCGACGCAACGCGAAGAACCTTACCAAGG
CTTGACATATACCGGAAACGGCTAGAGATAGTCGCC
CCTTGTGGTTCGGTATACAGGTGGTGCATGGCTGTCTG
CAGCTCGTGTCTGAGATGTTGGGTTAAGTCCCGCAA
CGAGCGCAACCCTTGTCTGTGTTGCCAGCATGCCCTT
CGGGGTGATGGGGACTCACAGGAGACTGCCGGGGTC
AACTCGGAGGAAGGTGGGGACGACGTCAAGTCATCA
TGCCCCTTATGTCTTGGGCTGCACACGTGCTACAATG
GCCGGTACAAAGAGCTGCGATGCCGCGAGGCGGAGC
GAATCTCAAAAAGCCGGTCTCAGTTCGGATTGGGGTC
TGCAACTCGACCCCATGAAGTCGGAGTTGCTAGTAAT
CGCAGATCAGCATTGCTGCGGTGAATACGTTCCCGGG
CCTGTACACACCGCCCGTCACGTCACGAAAGTCGGT
AACACCCGAAGCCGGTGGCCCAACCCCTGTGGGAGG
GAGCGTCGAAG
```

IV. 결론

인삼의 적변현상을 일으키는 여러 요인 중 적변 세균에 의한 적변이 가장 많은 비중을 차지할 것으로 생각하고 적변세균을 저해하는 길항성 방선균을 탐색하였다. 건전삼과 적변삼의 껍질을 추출하여 spectrophotometer를 이용하여 분석한 결과 269nm와 285nm에서 강한 흡광도를 보였다. 적변을 일으키는 17종의 세균을 접종하여 적변이 유발된 인삼의 껍질을 추출하여 spectrum을 분석한 결과 모두 비슷한 형태의 spectrum이 관찰되었다. 932개의 배양액을 이용 적변유발 세균 CG20126과 CG20123 균주에 대하여 길항성을 조사한 결과 inhibition zone의 크기가 0.7mm 이상인 29종의 방선균을 선별하였다. 선별된 29종의 방선균을 무씨의 발아력을 이용하여 식물생육억제활성을 측정을 통하여 식물생육을 억제하지 않는 A060040, A060042, A050175, AT040104를 선발하였다. 식물생육억제활성이 없는 방선균을 1차 test와 같이 CG20126과 CG20123 균주의 길항성 테스트 결과 AT040104가 생물적 방제용 미생물로 제일 적합하였다. AT040104균주를 16S rRNA 결과, *Streptomyces adaphospholyticus*의 균으로 동정되었으며 이를 이용하여 미생물제제 등으로 활용하면 적변현상을 줄여 인삼의 생장에 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업(Project No. 607003-05-3-SB120)의 지원에 의해 이루어진 것이다.

참고문헌

1. 강승원, 연병열, 현근수, 배영석, 이성우, 성낙술. 2007. 인삼 연작지 수확 경과 년 수에 따른 토양화학성 및 뿌리썩음병 발생률의 변화. 한국작물학회. 15(3): 157-161.
2. 김명수, 홍순근, 이태수, 한종구, 전정복. 1986. 인삼의 생리장해 방제에 관한 연구. 인삼연구보고서(재배분야). pp. 797-903. 한국인삼연초연구소.
3. 류태석, 권순태. 2008. 인삼재배지의 토양추출물이 종자 발아와 세포의 항산화효소 활성화에 미치는 영향. 한국자원식물학회지. 21(4): 324-328.
4. 목성균, 박규희. 1981. 생리장해에 관한 연구. 인삼연구서 보고서(재배분야). 한국인삼연초연구소. pp. 263-269.
5. 목성균, 홍순근, 김명수, 이태수, 한종구. 1987. 인삼의 생리장해에 관한 연구. 인삼연구보고서(재배분야, 환경 및 육종). pp. 396-434. 한국인삼연초연구소.
6. 안용준, 김홍진, 오승환, 최승윤. 1982. 연작지 토양에서 토양훈증제 처리가 인삼의 근부, 적변 및 생육에 미치는 영향. 고려인삼학회지 6(1): 46-55.
7. 양덕조, 김용해, 윤길영, 이성식, 권진이, 강현미. 1997. 인삼근 적변현상과 근권 토양환경. 고려인삼학회지. 21(2):

- 91-97.
8. 유근춘, 이한울, 오성중, 박철진. 2005. 국제 학제비교를 통한 한의학의 경쟁력 파악과 과제. 보건사회연구 12(3): 107-146.
 9. 윤길영, 양덕조, 2000. 인삼 적변현상과 적변물질의 형태-화학적 특성. 고려인삼학회지. 24(3): 107-112.
 10. 임태교, 박홍우, 황용수, 최재율. 2007. 인삼 적변유기에 대한 폴리페놀과 polyphenol oxidase의 잠재적 역할. 한국작물학회지 52(3): 289-295.
 11. 최재율, 육진아, 김진희, 최춘환, 천종식, 김영준, 이향빈. 2005. 적변삼으로부터 분리한 내생세균의 동정 및 적변 유발. 한국약용작물학회지 13(1): 1-5.
 12. 최재율, 이종신, 윤선미, 차선경, 2002. 건진삼과 적변삼 표피 및 무기성분의 비교. 한국약용작물학회지. 47(3): 161-166.