

최 종  
연구보고서

인삼 생산성향상을 위한  
토착 Arbuscular균근균(AMF) 접종방법 연구

Studies on Inoculation Method of Indigenous AMF  
for Improvement of Ginseng Productivity

연구 기관  
순천대학교

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “인삼 생산성향상을 위한 토착 Arbuscular균근균(AMF) 접종 방법 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007년 5월 24일

주관연구기관명 : 순천대학교

총괄연구책임자 : 손 보 균

세부연구책임자 : 안 호 근

세부연구책임자 : 박 서 기

연 구 원 : 진 서 영

연 구 원 : 조 은 주

연 구 원 : 위 치 도

연 구 원 : 한 찬 규

연 구 원 : 윤 현 오

연 구 원 : 송 민 재

연 구 원 : 리우양평

# 요 약 문

## I. 제 목

인삼 생산성향상을 위한 토착 Arbuscular균근균(AMF) 접종방법 연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구과제의 연구목적은 실제 인삼포장에서 분리한 토착 AMF를 따로 증식하여 묘삼 이식단계에 그 번식체를 접종하여 인삼재배 토양의 AMF밀도를 증가시켜줌으로 이식 후 인삼생육 증진 및 뿌리내에 AMF협생구조의 구축으로 토양으로부터 유래한 병원균에 대한 저항성을 제고시켜 친환경적인 청정인삼을 생산하여 국내외 경쟁력을 확보토록 하고, 기존 인삼재배 토양에서 문제시 되고 있는 주요 병해의 발생실태를 파악하여 그에 적합한 생물적 방제전략을 수립하는데 목표를 두고 있다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

연구내용으로는 실제 인삼포장에서 토착 AMF를 분리하고, 분리한 토착 AMF를 따로 증식하여 묘삼 이식단계에 선발된 접착물질을 이용 효과적으로 AMF번식체(접종원)를 접종부착해 줌으로 인삼재배 토양의 초기 AMF밀도를 증가시켜, 이식 후 인삼생육 증진효과 확인 및 뿌리내에 AMF협생구조의 구축에 따른 토양의 물리화학적 변화의 확인과, 토양으로부터 유래한 병원균에 대한 저항성물질(chitinase 등) 발현여부의 확인 등에 관련된 연구를 수행하며, 인삼재배 포장에서 발생하는 주요 병해에 대하여 인삼포장에서 분리선발된 chitin분해미생물을 이용한 인삼 병해의 생물적 방제전략 수립에 관련된 연구를 표 1-1과 같이 수행하였다.

따라서 본 연구의 최종목표와 연구내용을 개조식으로 요약하면 다음과 같다.

1. 연구개발 목표

- 6년근 인삼재배의 묘삼이식 단계에서 토착 AMF접종원 접종기술 확립
- 인삼생육 증진과 병해로 인한 결주감소 유도
- 인삼재배 토양의 AMF밀도 증가
- 인삼 생산 및 경제성이 고려된 재배법 유도
- 인삼의 청정재배 구현

2. 연구개발 내용

- 인삼재배 토양 중 토착AMF분포특성 파악
- 인삼재배 예정지 토양의 AMF번식체 밀도제고방안 수립
- 인삼 근권토양에서 토착 AMF번식체 분리 후 증식하여 접종원 확보
- 묘삼에 AMF접종원 부착을 위한 접착물질 선발
- 묘삼이식 후 생장반응 및 품질변화 확인
- AMF접종원 접종에 따른 감염특성 조사
- 인삼포장의 주요 병해 발생실태 조사 및 병원균 분리
- 분리된 병원균의 길항성 검토와 유용균주선발
- 인삼병해의 생물적 방제전략 수립

표 1-1. 연차별 연구개발의 세부내용

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2004)	1)AMF수집분리증식 및 예정지관리 기술 개발  2)접착물질 선발  3)토양병원균, 항균 검토/실태조사  4)묘삼 접종원 처리 (1차 예비접종)	○인삼재배 토양의 토착AMF수집 근권토양 으로부터 AMF 포자 수집 및 밀도조사  ○토착 AMF번식체 증식 Open pot재배로 기주식물을 활용하여 6개월간 증식  ○예정지의 기부식물별 토양특성 변화 구명  ○접종원 부착용 접착물질 선발 묘삼에 악영향을 주지 않는 접착물질을 선발  ○인삼 토양병원균 분리수집/배양 chitin분해미생물의 균주선발과 효과확인  ○AMF접종원 처리 분리증식된 AMF접종원을 묘삼에 부착 후 이식

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
2차년도 (2005)	1)묘삼에 접종원 2차 처리  2)인삼의 생육증진 효과 및 AMF감염/밀도변화 구명  3)근권환경개선효과 구명  4)인삼 병해에 대한 생물적 방제 농가 포장 실증연구	○AMF접종원 처리 1년차 “4”의 “㉔”항과 같은 방법으로 AMF접종원을 '05년 봄 3월 묘삼에 접종하여 이식  ○인삼의 성장반응 조사 AMF접종처리한 인삼의 생육반응을 확인하기 위해 지상부, 지하부의 특성변화를 경시적 조사  ○인삼 근권토양의 AMF밀도와 감염 확인 및 양상조사 경시적인 AMF포자계수와 외부균사를 추출조사 현미경 관찰을 통한 감염구조 특성조사  ○AMF처리에 의한 토양환경 개선효과 구명 토양 물리화학 및 AMF활성조사, 토양환경 개선효과 여부를 확인(입단화율과 Glomalin 추출분석)  ○인삼병에 대한 생물적 방제효과 확인 선발된 길항미생물 배양액을 3년근/4년근인삼을 대상으로 방제효과 실증실험 수행
3차년도 (2006)	1)접종처리 인삼의 생육증진 및 품질 평가  2)근권환경 개선효과 구명 <u>(2년차 계속)</u>  3)균근감염 인삼의 저항성 유발여부 확인  4)인삼병해 생물적 방제전략 수립	㉔인삼의 성장반응과 인삼품질향상 여부 조사 AMF접종처리한 인삼의 생육반응 조사 품질향상을 확인하기 위해 지하부의 특성을 조사(세포 형태학적 측면) 조사포닌 분석  ㉔AMF처리에 의한 토양환경 개선효과 구명 AMF접종 처리여부에 따른 토양물리성을 조사하여 토양환경 개선효과 여부를 확인. External hyphe와 통기성 분석  ㉔병 저항성 유발효과 확인 병원균을 접종한 후 AMF감염된 인삼의 저항성 유도반응을 병저항성 물질( $\beta$ -1, 3- glucanase)활성 확인  ㉔인삼병해방제 농가실증실험 농가실증을 위주로 인삼병해의 생물적 방제효과 검증  ㉔병해방제 전략 수립 차광망 종류에 따른 병해발생실태 조사 결과와 선발약제 처리결과를 고려한 방제체계 수립

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 연구개발 결과

#### 가. 전남지역 인삼재배지의 Arbuscular균근균(AMF) 분포특성 및 접종원 증식

전남지역 인삼재배지의 토착 Arbuscular균근균(AMF) 분포와 감염특성을 파악하기 위해서 전남 곡성, 영광, 영암, 해남군지역을 대상으로 토양과 인삼시료를 채취하여 조사하고, 예정지 관리를 위해 기주작물을 처리하여 AMF 밀도 변화와 토양특성을 조사하였다.

조사지역의 전체 평균 포자밀도는 건토 g당 3.4~5.9개 범위였으며, 재배년수 3년까지는 포자밀도가 다소 증가하는 경향을 보였다. 반면에 자연상태의 토양 중 AMF 포자밀도는 6.3~14.7개의 범위를 보여 인삼재배지 보다 포자밀도가 높게 나타났다. 포자크기별 분포는 직경 45~106 $\mu$ m범위가 74.3%로 높은 빈도분포를 보였다. AMF 감염 양상은 *Paris*-type이 주로 확인 되었다. 평균 감염율은 영암지역이 높게 나타났고(64.4%), 그 외 지역은 40~50%범위를 보였다.

조사지역의 근권토양 중 AMF 외생균사 길이는 건토 g당 0.5~4.4m g<sup>-1</sup>범위였으며 인삼의 재배여년수가 길어짐에 따라 hyphae의 양이 많아졌다.

6개월간 증식된 접종원은 총 150kg였고 평균 포자수는 30g당 554 $\pm$ 34개를 나타냈으며, 1g당 포자수는 18.5개로 환산되었다.

#### 나. 인삼재배 예정지 토양의 AMF번식체 밀도향상 연구

인삼재배 예정지 관리단계에서 토양의 AMF 밀도 제고와 물리성을 개선하고자 겨울작물인 보리와 귀리, 여름작물인 수단그라스와 콩을 재배하여 AMF 밀도 변화와 토양특성을 조사하였다.

녹비작물(綠肥作物)의 생산량은 겨울작물 중 귀리를 재배한 처리구가(3045.3 kg ha<sup>-1</sup>), 여름작물 중 귀리 재배 후 수단그라스를 재배한 처리구(2756.8 kg ha<sup>-1</sup>)와 보리를 재배한 후 콩을 재배한 처리구(1628.3 kg ha<sup>-1</sup>)가 많은 건물 생산

량을 나타내었다. 겨울작물 혼입 후 유기물 함량의 변화는 대조구 II를 제외하고 0.1~0.2%정도 증가되었다. 입단화율은 보리를 재배한 처리구가 45.7%, 귀리를 재배한 후 수단그라스를 재배한 처리구가 45.1%로 높아졌다.

포자밀도는 겨울작물이 전체적으로 증가하는 경향이었고, 여름작물은 수단그라스를 재배한 처리구가 건토 g당 64개로 콩을 재배한 처리 보다 증가하였다.

AMF 외생균사 길이는 겨울작물이 건토 g당 15~20 m g<sup>-1</sup> 수준 이었으며, 여름작물은 수단그라스를 재배한 처리구 26~29 m g<sup>-1</sup>, 콩을 재배한 처리구가 17~22 m g<sup>-1</sup> 수준으로 대조구보다 높았다.

토양 중 Glomalin은 작물을 재배한 처리구가 대조구 보다 높은 함량을 나타내었다. 그 중에서도 보리를 재배한 후 이어 콩을 재배한 처리구가 1.7 mg g<sup>-1</sup>로 높게 나타났다.

이상의 결과는 인삼 예정지 토양관리는 겨울작물로 보리를 재배한 후 후작으로 수단그라스를 재배하는 것이 AMF 포자밀도 향상과 토양물리성 개선에 효과적인 것으로 확인되었다.

#### 다. 인삼 재배에서 Arbuscular균근균(AMF) 접종효과에 관한 연구

관행의 인삼 재배시 묘삼 이식단계에 인삼포장에서 분리한 토착 AMF를 따로 증식하여 그 번식체를 묘삼에 접종하여 본포장 AMF 밀도를 증가시켜줌으로서 AMF의 조기감염을 유도시켜 인삼 생산성 향상을 증대시키는 방안을 수립하고자 AMF 접종원 부착용 접착제 선발, AMF접종에 대한 생육반응, 포자밀도변화와 감염구조 및 AMF접종과 관련된 인삼체 중의 병저항성 물질의 활성화에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

접종원 부착용 접착제를 선발하기 위해 소맥분, 과당, 해조류 추출액 및 HEC(Hydroxyethylcellulose)등을 대상으로 AMF 접종원의 묘삼에 대한 부착량, 묘삼표피의 영향여부 등을 검토 한 결과 점도 150cps로 접종원 약 2g 부착능의 점도가 적당하였으며, 효율성과 경제성을 고려한 접착제 재료로서는 해조류(미역) 추출분해액 + HEC가 가장 바람직하다는 결론을 얻었다.

묘삼에 Arbuscular균근균(AMF) 접종효과를 확인하기 위해 생육반응을 조사한 결과 초장, 지상 지하부의 생육과 엽록소 함량 등에 AMF 접종원 처리구에서 유

의적으로 향상되었으며, 묘삼이식 16후와 2년 후의 인삼 지하부 생체중은 대조구에 비해 각각 36.5%와 30.4% 증가되었다.

포자밀도와 감염율은 AMF를 접종한 처리구에서 대조구보다 각각 37%, 20% 높았으며, 토양 중 외부균사의 길이와 Glomalin 함량, 내수성 입단화 정도를 조사한 결과 AMF 처리구에서 모두 높은 수치를 나타냈다.

병저항성 물질과 관련되는  $\beta$ -1, 3-glucanase와 chitinase의 활성을 분석한 결과,  $\beta$ -1, 3-glucanase의 활성에서는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았고, chitinase의 활성은 AMF 처리구에서 묘삼 이식 후 7일경에 그 활성도가 급격히 증가되었다.

이상의 연구 결과로서 인삼 재배 시 묘삼 이식 단계에서 AMF 접종처리는 인삼의 초기성장 촉진은 물론 품질향상에 크게 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

## 라. 전남지방의 인삼에 발생하는 주요 병의 종류 및 친환경적 방제 전략

### 1) 전남지방에서 발생하는 주요 인삼 병의 종류 및 발생생태

전남지방의 인삼 재배 포장에서는 점무늬병, 탄저병, 모잘록병, 잿빛곰팡이병, 뿌리썩음병(근부병), 뿌리혹선충이 문제시되고 있었는데, 유기합성농약은 점무늬병, 탄저병, 모잘록병, 잿빛곰팡이병의 방제를 위해서 처리되고 있었다. 점무늬병과 탄저병은 6월 상, 중순부터 관찰되었고, 모잘록병은 4월 중순~5월 상순, 잿빛곰팡이병은 3월 하순부터 6월에 걸쳐 발생하고 있었다. 죽은 식물체는 모든 인삼재배포장에서 관찰되었는데, 여기에는 무수한 탄저병균, 점무늬병균, 잿빛곰팡이병균들이 분포하고 있었다. 따라서 이들 병원균들은 인삼생육기간의 주요한 전염원으로 생각되었다.

### 2) 인삼 탄저병과 점무늬병의 친환경적 방제전략

7월에 인삼재배포장에 방치되고 있는 죽은 식물체에는 무수한 탄저병균과 점무늬병균이 분포하고 있었다. 이 죽은 식물체를 제거함으로써 탄저병은 약 30%, 점무늬병은 약 25%의 방제효과를 보여 주었다. 한편, 비가림차광판을 설치하였을 경우에는 탄저병에 대하여 약 40%, 점무늬병에 대하여 약 25%의 방제효과를 나타냈으며, 약제 방제 횟수도 일반 차광망을 설치한 지역에서 보다 훨씬 더 작았다. 2005년도의 포장 실험에서 *Chromobacterium* sp. strain C-61과 *Lysobacter*



*enzymogenensis* 의 혼합 배양액은 탄저병에 대하여 81.3%, 점무늬병에 대하여 84.7%의 방제효과를 보여 주었는데, 이것은 살균제의 처리에서와 비슷하였다. 2006년도의 실험에서도 혼합배양액의 방제효과가 인정되었지만, 살균제의 방제효과에는 미치지 못하였다. 이들 결과는 비가림차광판의 설치, 죽은 식물체의 제거, 미생물제의 처리에 의해서 탄저병과 점무늬병을 방제할 수 있다는 가능성을 보여준다.

### 3) 인삼 모잘록병과 잿빛곰팡이병의 생물적 방제

*Rhizoctonia solani* 와 *Pythium* sp.에 의한 모잘록병과 *Botrytis cinerea* 에 의한 잿빛곰팡이병은 인삼재배지에서 매우 중요한 병이다. PDA배지 위에서 *R. solani* 는 *Chromobacterium* sp. strain C-61과 *Lysobacter enzymogenensis*, *Pythium* sp.는 *Serratia plymuthica* 에 의해서 크게 억제되었고, *B. cinerea*는 세균주 모두에 의해서 크게 억제되었다. 풋트 실험에서 *L. enzymogenensis* 와 *Chromobacterium* sp. strain C-61은 모잘록병을 크게 억제하였지만, *S. plymuthica*는 인삼의 출아 및 잎에 피해를 주었다. 2005년도의 포장 실험에서 *Chromobacterium* sp. strain C-61과 *Lysobacter enzymogenensis* 의 혼합 배양액은 모잘록병에 대하여 82.3%, 잿빛곰팡이병에 대하여 72.8%의 방제효과를 보여 주었는데, 이것은 살균제의 처리에서와 비슷하였다. 모잘록병의 경우에는 2006년에도 본 배양액에 의하여 좋은 방제효과가 얻어졌다. 이들 결과는 인삼 모잘록병과 잿빛곰팡이병을 환경친화적인 방법에 의해서 방제할 수 있다는 것을 제시한다.

## 2. 결과활용에 대한 건의

본 연구진은 연구결과 중 두 개의 발명특허를 출원하였다. “식물 병 방제활성을 갖는 길항미생물과 이들을 이용한 식물병 방제”를 2006년 1월 9일에 특허출원완료(출원번호:10-2006-0002418)하였고, “인삼 생산성향상을 위한 AMF접종원의 효과적 접종방법”은 2006년 8월 30일자로 특허출원완료(출원번호:10-2006-0083011)하였으므로 해당지역의 인삼농협을 통하여 확대보급할 계획으로 있으므로 중앙정부나 지방자치단체가 친환경농업육성 관련 예산에서 AMF 접종원 증식과 길항미생물 배양에 필요한 소요예산과 장비의 지원이 가능할 경

우 그 지원을 받은 농업연구기관이나 대학의 전문인력으로 하여금 AMF접종원을 대량증식하여 보급하게되면 효과적일 것으로 생각된다.

## SUMMARY

### **1. Distribution characteristics of an indigenous arbuscularmycorrhizal fungi(AMF) in ginseng garden soil of Jeonnam region and mass proliferation of AMF inoculum**

This study was carried out to investigate the distribution characteristics, colonization patterns of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on ginseng field soils and ginseng roots collected from Jeonnam region(Gokseong, Yeonggwang, Yeongam and Haenam) and the changes in AMF propagule density and physiochemical properties of soil were cultivated with host crops for establishment of the soil management methods in improving and maintaining of soil quality of a ginseng fields. Total average density of AMF spores was in the range of 3.4~5.9 g<sup>-1</sup> dried soil, and spore density in investigated soils was increased up to three years old ginseng field. Whereas, AMF spore density in the marginal field soil with 6.3~14.7 g<sup>-1</sup> was higher than in ginseng field soil. In distribution of AMF spores in size, the highest distributed frequency was 74.3% in the range of 45~106 $\mu$ m in diameter. AMF colonization pattern of in ginseng roots depended on highly with a *Paris*-type mycorrhizal association. Average infection percentage showed between 40% and 50% levels and especially, the highest mycorrhizal infection rate was 64.4% in Yeongam area. The hyphal quantity increased with an increment of ginseng cultivation years. External hyphae length (EHL) in the rhizosphere soil of ginseng field was in the range of 0.5~4.4 m g<sup>-1</sup>dried soil. Total dry weight of propagated AMF inoculant in 6 months after mass proliferation was 150kg and average density of AMF spore was 18.5 g<sup>-1</sup>dried soil.

## **2. Improvement of AMF propagule density in the soil before ginseng cultivation**

Winter crops (barley and rye) and summer crops (sudangrass and soybean) were cultivated in combination with treatments to improve AMF propagation and soil aggregation in ginseng field before planting. Yield of harvested green manure was higher at the rye only (3,045 kg ha<sup>-1</sup>), rye / sudangrass (2,756.8 kg ha<sup>-1</sup>), barley / soybean (1,628.3 kg ha<sup>-1</sup>), respectively. Soil organic matter was increased about 0.1~0.2% after incorporation of winter crops comparing to control. Soil aggregation rate was improved at barley (45.7%) and at rye / sudangrass cultivated plot (45.1%). The number of AMF spores in soil after cultivating of winter crops was slowly increased. In summer crops, AMF spore density at sudangrass cultivated plot (64.0 g<sup>-1</sup> dried soil) was higher than soybean cultivated plot. EHL was 15~20m g<sup>-1</sup> at winter crop, whereas at summer crop cultivation was 26~29m g<sup>-1</sup> in sudangrass and in 17~22 m g<sup>-1</sup> in soybean plot. Glomalin content in the soil cultivated with host crop was higher than that of control. Especially, the highest glomalin content was shown in the soybean cultivated plot after barley harvest with a 1.7mg g<sup>-1</sup>.

These results indicated that the most effective soil management of pre-management of ginseng field is cultivating sudangrass as a succeeding crop after post-harvesting of barley for improvement of AMF spore density and soil physical properties.

## **3. Studies on the growth response to Korean ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) seedling inoculated with an arbuscular mycorrhizae inoculum in field condition**

To establish the effective conditions for inoculating the arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) inoculum into the ginseng seedlings, the mixtures with hydroxyethylcellulose (HEC), flour, glutinous starch syrup, seaweed

extract and the tap water were used as good adhesives by estimating the AMF inoculum's adhesive ability.

The physical characteristics of one year old Korean ginseng seedlings which used in transplanting were 1.33 of weight, 19.43cm of length, 5.54 mm of diameter, 47.23 cm<sup>2</sup> of surface area and 18.5 spores/g of the spore density of the inoculums propagated for 6 months. Among the various levels of the viscosities (1, 25, 50, 100, 150, 200, 250 cp) tested in this study, it is estimated that the 150cp viscosity of adhesives showed the strongest in adhesive ability with 2.81g of AMF inoculums. Because there was not much difference in AMF inoculum's adhesive ability were several different materials, seaweed extract, which known to be effective on AMF hyphae germination and growth, was used as a main material and HEC was added into the seaweed extracts to adjust the viscosity. There was not found any significant physical differences of cortex cells in ginseng seedlings with observation under the microscope after 3 hours dipping with adhesive materials. The accumulated and sequential oxygen wastages from each adhesive materials 45mg from HEC, 43mg from glutinous starch syrup and the seaweed extracts, 32mg from flour and 22mg from the tap water. Sequential oxygen wastages showed the highest at around 1 hr after adjustment to constant temperature, resulting in 13mg from HEC, 12mg from the mixtures with the sea weed extracts and flour, 11mg from the glutinous starch syrup and 9mg from tap water and then it was barely existed after 7 hours.

To examine the effectiveness of AMF into ginseng seedling the field condition, we investigated the growth response of one year-old Korean ginseng seedlings inoculated with AMF (46 spores per seedling) at transplanting time. The chemical properties of the field soil were a 5.9 of pH, 0.20 dS/m of EC, 279.7 mg/kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 1.61 g/kg of SOM, 0.06 % of T-N, 0.62 cmol/kg of exchangeable K, 1.86 cmol/kg of Ca, 0.82 cmol/kg of Mg and 0.22 cmol/kg of Na, respectively. At sixteen weeks after inoculation with

AMF, the growth of mycorrhizal ginseng plants were improved by additional inoculation of AMF. Root fresh weight, leaf area, and chlorophyll content of AMF inoculated ginseng plants were improved significantly. Root fresh weight of ginseng in 16 and 52 weeks after transplanting were increased respectively in 36.5% and 30.4% compared to non-inoculated ginseng seedlings. The macro-nutrient and micro-nutrient concentrations of the ginseng plants inoculated with AMF were highly increased compared to those of non-inoculated ones. The spore densities of AMF in the rhizosphere soil at 16 weeks after inoculation with and without AMF were 256.8 and 186.3 spores/30g fresh soil, respectively. The AMF infection rate in lateral roots of AMF inoculated ginseng plants was approximately 19% higher compared to the lateral roots of non-inoculated control plants.

In AMF mycorrhizal plants, the bioprotection against soil-borne pathogens can result from the preactivation of defence responses including some structural modifications and the pathogenesis-related (PR) proteins accumulation, such as chitinase,  $\beta$ -1,3-glucanase etc.

Therefore, we determined whether chitinase or  $\beta$ -1,3-glucanase activities in ginseng seedlings inoculated with or without AMF was increased.

Our results showed that plant chitinase activity was highly increased at 7 day with treatment of AMF, meaning mycorrhizal-specific induction of plant chitinases could be involved in the biocontrol of a certain pathogen by AMF.

Taken together, we can conclude that inoculation of ginseng seedlings with AMF at transplanting time may enhance plant growth and consequently improve the yield of ginseng root.

#### **4. Ecology of major diseases and strategies of eco-friendly controls against pathogens in ginseng field in Jeonnam area.**

##### **1) Major diseases of ginseng field and their ecology in Jeonnam area.**

Major diseases of ginseng in Jeonnam area were *Alternaria* blight,

Anthraco-nose, Damping-off, Gray mold, Root rot and Root-knot nematode. Chemical fungicides have been treated for control of Alternaria blight, Anthracnose, Damping-off and Gray mold, Alternaria blight and Anthracnose were observed from early and middle June. Damping-off was occurred from middle to early May and Gray mold was observed from late march to late June. Dead plants were observed in all of ginseng plantations. Numbers of spores of *Alternaria panax*, *Colletotrichum gloeosporioides* and *Botrytis cinerea* were distributed on the dead plants. It was considered that the spores might be played an role as major inoculum of diseases occurring in the growing season of ginseng.

## **2)Stratigies for control of anthracnose and alternaria blight of ginseng by environmental-friendly system.**

The dead plants that observed in July at the ginseng plantations had the numbers of conidia of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Alternaria panax*.. Eradication of the dead plants showed considerable control effect, with control value of about 30% for anthracnose and about 25% for alternaria blight. The rain cut-shade roofs showed control values of about 40% for anthracnose and about 25% for alternaria blight. We could see that the fields of rain cut-shade roofs are spraying much less fungicides (less than a half in spraying times) than the fields of general shade roofs in Jeonnam area. In 2005 experiment, the treatment of combined culture solution with *L. enzymogenensis* and *Chromobacterium* sp. strain C-61 showed superior control efficacy with control values of 81.3% for anthracnose and 84.7% for alternaria blight, which were similar to those of fungicidal treatment. In 2006 experiment, however, control efficacy of the culture solution was lower than that of fungicide. Present study indicates that anthracnose and alternaria blight of ginseng can be controlled by environmental-friendly system such as use of rain cut-shade roof, eradication of dead plants and application of biocontrol agents.

### 3) Biological control of damping-off and gray mold of ginseng by chitinolytic microorganisms

Damping-off caused by *Rhizoctonia solani* and *Pythium* sp. and gray mold caused by *Botrytis cinerea* are important disease in the ginseng plantations. The growth of *R. solani* was largely inhibited on PDA plates by chitinolytic bacteria such as *Chromobacterium* sp. strain C-61 and *Lysobacter enzymogenensis*, and *Pythium* sp. was inhibited by *Serratia plymuthica*. All of these antagonists inhibited growth of *Botrytis cinerea*. The pot experiments showed that damping-off is largely suppressed by *L. enzymogenensis* and *Chromobacterium* sp. strain C-61. However, *S. plymuthica* was interfere with the emergence of ginseng and formed lesion on the ginseng leaves. In 2005 experiment, the treatment of combined culture solution with *L. enzymogenensis* and *Chromobacterium* sp. strain C-61 showed control values of 82.3% for damping-off and 72.8% for gray mold, which were similar to those of fungicidal treatment. Superior control efficacy of the culture solution on damping-off was also obtained by 2006 experiment. These results suggest that damping-off and gray mold of ginseng can be controlled by environmental-friendly method.

# CONTENTS

<b>Chapter 1. Outline of research project</b> .....	21
Section 1. Objectives and contents of study .....	21
Section 2. Necessity of research and development .....	24
Section 3. Results and practical contents of study .....	26
<b>Chapter2. Domestic and foreign situation of technology</b> .....	28
Section 1. Domestic situation of technology .....	28
Section 2. Foreign situation of technology .....	28
Section 3. Future prospect .....	30
<b>Chapter3. Results and contents of study</b> .....	31
Section 1. Distribution characteristics of an indigenous arbuscular mycorrhizal fungi(AMF) in ginseng field of Jeonnam region and mass proliferation of AMF inoculum .....	31
1. Introduction .....	31
2. Materials and methods .....	32
A. Distribution characteristics of AMF in ginseng field .....	32
B. Propagation of native AMF .....	34
3. Results and discussion .....	35
A. Distribution characteristics of AMF in ginseng field .....	35
B. Propagation of native AMF .....	47
4. Summary .....	49
Section 2. Improvement of AMF propagule density in the soil before ginseng cultivation .....	50
1. Introduction .....	50
2. Materials and methods .....	51
A. Treatments .....	51
B. Addition of green manure crops .....	52



C. Physical and chemical properties of soil .....	52
D. Changes of AMF density and infection rate .....	52
E. Extraction method of external hyphae .....	52
F. Extraction of glomalin .....	52
3. Results and discussion .....	53
A. Improvement of AMF density and physical properties in pre-management of upland soil .....	53
4. Summary .....	59
Section 3. Studies on effects of AMF inoculation to Korean ginseng ( <i>Panax ginseng</i> C.A. Meyer) seedling .....	60
1. Introduction .....	60
2. Materials and methods .....	62
A. Selection of adhesive materials for AMF inoculation .....	62
B. Effects of AMF inoculation in ginseng plant .....	63
C. Identification of pathogenesis-related(PR) substances in mycorrhizal ginseng plant .....	67
3. Results and discussion .....	68
A. Selection of adhesive materials for AMF inoculation .....	68
B. Effects of AMF inoculation in ginseng plant .....	73
C. Analysis of crude saponin in ginseng root .....	86
D. Identification of pathogenesis-related(PR) substances in mycorrhizal ginseng plant .....	86
4. Summary .....	88
Section 4. Ecology of major diseases and strategies of eco-friendly controls against pathogens in ginseng field in Jeonnam area .....	90
1. Introduction .....	90
2. Materials and methods .....	91
A. Ecology of major diseases in ginseng field .....	91
B. Strategies of environmental-friendly controls against major diseases in ginseng field .....	92
3. Conclusion .....	95
A. Major diseases of ginseng field and their ecology in Jeonnam area .....	95

B. Strategy of environmental-friendly control against major diseases in ginseng field in Jeonnam area .....	101
4. Results and discussion .....	111
A. Major diseases of ginseng field and their ecology in Jeonnam area	111
B. Strategy of environmental-friendly control against major diseases in ginseng field in Jeonnam area .....	112
5. Summary .....	115
A. Major disease of ginseng field and their ecology in Jeonnam area ..	115
B. Strategies for control of anthracnose and alternaria blight of ginseng by environmental-friendly system .....	115
C. Biological control of damping-off and gray mold of ginseng by chitinolytic microorganisms .....	116
<b>Chapter 4. Achievement of aim of research and contribution degree of         related field .....</b>	<b>117</b>
Section 1. Achievement of plan .....	117
Section 2. Contribution degree of related field .....	118
<b>Chapter 5. Utilization plan of research products .....</b>	<b>119</b>
Section 1. Utilization plan .....	119
<b>Chapter 7. References .....</b>	<b>121</b>

# 목 차

<b>제 1 장 연구개발과제의 개요</b> .....	21
제1절 연구개발의 목적과 내용 .....	21
제2절 연구개발의 필요성 .....	24
제3절 연구개발 범위와 추진체계 .....	26
<b>제 2 장 국내·외 기술개발현황</b> .....	28
제1절 국내 기술현황 .....	28
제2절 국외 기술현황 .....	28
제3절 추후 전망 .....	30
<b>제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과</b> .....	31
제1절 전남지역 인삼재배지의 Arbuscular균근균(AMF) 분포특성 및 접종원 증식 .....	31
1. 서 언 .....	31
2. 재료 및 방법 .....	32
가. 인삼 재배지의 AMF 분포특성 .....	32
나. 토착 AMF 증식재배 .....	34
3. 결과 및 고찰 .....	35
가. 인삼 재배지의 AMF 분포특성 .....	35
나. AMF접종원 증식 결과 .....	47
4. 결과요약 .....	49
제2절 인삼재배 예정지 토양의 AMF번식체 밀도향상 방안연구 .....	50
1. 서 언 .....	50
2. 재료 및 방법 .....	51
가. 처리내용 .....	51
나. 녹비작물의 투입 .....	52
다. 토양의 물리·화학적 특성 .....	52
라. AMF 밀도변화와 감염율 .....	52

마. AMF외생균사(External hyphae)추출 및 길이 .....	52
바. Glomalin추출 .....	52
3. 결과 및 고찰 .....	53
가. 예정지관리 토양의 AMF밀도 제고와 물리성개선 .....	53
4. 결과요약 .....	59
제3절 인삼 재배에서 Arbuscular균근균(AMF) 접종효과에 관한 연구 .....	60
1. 서 언 .....	60
2. 재료 및 방법 .....	62
가. Arbuscular균근균 접종원 부착용 재료 선발 .....	62
나. 인삼에 대한 AMF 접종 효과 .....	63
다. 균근감염 인삼의 병저항성 관련물질 확인 .....	67
3. 결과 및 고찰 .....	68
가. Arbuscular균근균 접종원 부착용 재료 선발 .....	68
나. 인삼의 AMF 접종효과 구명 .....	73
다. 인삼 중 조사포닌 분석결과 .....	86
라. 균근감염 인삼의 병저항성 관련물질 확인 .....	86
4. 결과요약 .....	88
제4절 전남지방의 인삼에 발생하는 주요 병의 종류 및 친환경적 방제 전략 .....	90
1. 서 언 .....	90
2. 재료 및 방법 .....	91
가. 주요 인삼 병의 종류 및 특성 .....	91
나. 주요 인삼 병의 친환경적 방제 전략 .....	92
3. 연구결과 .....	95
가. 전남지방에서 발생하는 주요 인삼 병의 종류 및 발생생태 .....	95
나. 전남지방의 주요 인삼 병에 대한 친환경적 방제 전략 .....	101
4. 결과 및 고찰 .....	111
가. 전남지방에서 발생하는 주요 인삼 병의 종류 및 발생생태 .....	111
나. 전남지방의 주요 인삼 병에 대한 친환경적 방제 전략 .....	112
5. 결과요약 .....	115
가. 전남지방에서 발생하는 주요 인삼 병의 종류 및 발생생태 .....	115
나. 인삼 탄저병과 점무늬병의 친환경적 방제전략 .....	115

다. 인삼 모잘록병과 잿빛곰팡이병의 생물적 방제 .....	116
<b>제 4 장 연구목표 달성도 및 관련분야 기여도 .....</b>	<b>117</b>
제1절. 연구목표 달성도 .....	117
제2절. 관련분야에 대한 기여도 .....	118
<b>제 5 장 연구개발결과의 활용계획 .....</b>	<b>119</b>
제1절 활용계획 .....	119
<b>제 7 장 참고문헌 .....</b>	<b>121</b>

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제1절 연구개발의 목적과 내용

본 연구과제의 연구목적은 실제 인삼포장에서 분리한 토착 AMF를 따로 증식하여 묘삼 이식단계에 그 번식체를 접종하여 인삼재배 토양의 AMF밀도를 증가시켜줌으로 이식 후 인삼생육 증진 및 뿌리내에 AMF협생구조의 구축으로 토양으로부터 유래한 병원균에 대한 저항성을 제고하고, 기존 인삼재배 토양에서 문제시 되고 있는 주요 병해의 발생실태를 파악하여 그에 적합한 생물적 방제전략을 수립하는데 목표를 두고 있다.

연구내용으로는 실제 인삼포장에서 토착 AMF를 분리하고, 분리한 토착 AMF를 따로 증식하여 묘삼 이식단계에 선발된 접착물질을 이용 효과적으로 AMF번식체(접종원)를 접종부착 해 줌으로 인삼재배 토양의 초기 AMF밀도를 증가시켜, 이식 후 인삼생육 증진효과 확인 및 뿌리내에 AMF협생구조의 구축에 따른 토양의 물리화학적 변화의 확인과, 토양으로부터 유래한 병원균에 대한 저항성물질(chitinase 등) 발현여부의 확인 등에 관련된 연구를 수행하며, 인삼재배 포장에서 발생되는 주요 병해에 대하여 인삼포장에서 분리선발된 chitin분해미생물을 이용한 인삼 병해의 생물적 방제전략 수립에 관련된 연구를 표 1-1과 같이 수행하였다..

따라서 본 연구의 최종목표와 연구내용을 개조식으로 요약하면 다음과 같다.

### 1. 연구개발 목표

- 6년근 인삼재배의 묘삼이식 단계에서 토착 AMF접종원 접종기술 확립
- 인삼생육 증진과 병해로 인한 결주감소 유도
- 인삼재배 토양의 AMF밀도 증가
- 인삼 생산 및 경제성이 고려된 재배법 유도
- 인삼 병해의 생물적 방제전략 수립
- 인삼의 청정재배 구현

## 2. 연구개발 내용

- 인삼재배 토양 중 토착AMF분포특성 파악
- 인삼재배 예정지 토양의 AMF번식체 밀도제고방안 수립
- 인삼 근권토양에서 토착 AMF번식체 분리 후 증식하여 접종원 확보
- 묘삼에 AMF접종원 부착을 위한 접착물질 선발
- 묘삼이식 후 성장반응 및 품질변화 확인
- AMF접종원 접종에 따른 감염특성 조사
- 인삼포장의 주요 병해 발생실태 조사 및 병원균 분리
- 분리된 병원균의 길항성 검토와 유용균주선발
- 인삼병해의 생물적 방제전략 수립

표 1-1. 연차별 연구개발의 세부내용

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2004)	1)AMF수집분리증식 및 예정지관리 기 술 개발  2)접착물질 선발  3)토양병원균, 항균 검토/실태조사  4)묘삼 접종원 처리 (1차 예비접종)	○인삼재배 토양의 토착AMF수집 근권토양 으로부터 AMF 포자 수집 및 밀도조사  ○토착 AMF번식체 증식 Open pot재배로 기주식물을 활용하여 6개월간 증식  ○예정지의 기부식물별 토양특성 변화 구명  ○접종원 부착용 접착물질 선발 묘삼에 악영향을 주지 않는 접착물질을 선발  ○인삼 토양병원균 분리수집/배양 chitin분해미생물의 균주선발과 효과확인  ○AMF접종원 처리 분리증식된 AMF접종원을 묘삼에 부착 후 이식

(표 1-1. 계속)

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
2차년도 (2005)	1)인삼의 생육증진 효과 및 AMF감 염/밀도구명  2)근권환경 개선 효과구명  3)인삼 병해의 생물 적 방제(농가포장 실증연구)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○인삼의 성장반응 조사</li> <li>AMF접종처리한 인삼의 생육반응을 확인하기 위해 지상부, 지하부의 특성변화를 경시적 조사</li> <li>○인삼 근권토양의 AMF밀도와 감염 확인 및 양상조사 경시적인 AMF포자계수와 외부균사를 추출조사 현미경 관찰을 통한 감염구조 특성조사</li> <li>○AMF처리에 의한 토양환경 개선효과 구명 토양 물리화학 및 AMF활성조사, 토양환경 개선효과 여부를 확인(입단화율과 Glomalin 추출분석)</li> <li>○인삼병에 대한 생물적 방제효과 확인 선발된 길항미생물 배양액을 3년근/4년근인삼을 대상으로 방제효과 실증실험 수행</li> </ul>
3차년도 (2006)	1)접종처리 인삼의 생육증진 및 품질 평가  2)근권환경 개선효 과 구명 <u>(2년차 계속)</u>  3)균근감염 인삼의 저항성 유발여부 확인  4)인삼병해 생물적 방제전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>○인삼의 성장반응과 인삼품질향상 여부 조사</li> <li>AMF접종처리한 인삼의 생육반응 조사 품질향상을 확인하기 위해 지하부의 특성을 조사(세포 형태학적 측면) 및 조사포닌 분석</li> <li>○AMF처리에 의한 토양환경 개선효과 구명 AMF접종 처리여부에 따른 토양물리성을 조사하여 토양환경 개선효과 여부를 확인. External hyphae와 통기성 분석</li> <li>○병 저항성 유발효과 확인 병원균을 접종한 후 AMF감염된 인삼의 저항성 유도반응을 병저항성 물질(<math>\beta</math>-1, 3- glucanase)활성 확인</li> <li>○인삼병해방제 농가실증실험 농가실증을 위주로 인삼병해의 생물적 방제효과 검증</li> <li>○병해방제 전략 수립 차광망 종류에 따른 병해발생실태 조사 결과와 선발약제 처리결과를 고려한 방제체계 수립</li> </ul>



## 제2절 연구개발의 필요성

우리나라 인삼은 품질 및 가격면에서 절대우위를 점하고 있으며, 전국의 재배 면적은 12,445ha에 이르고, 연간 인삼생산량은 13,000여톤으로 세계생산량의 약 33%를 차지하고 있으나 생산량은 그 수요에 따르지 못하고 있다.

인삼은 반음지식물로서 재배특성상 생육이 느리며 노동집약적 관리를 해야할 뿐만 아니라 속효성비료나 화학비료의 시용이 제한적이며 한 곳에서 다년간 생육되기 때문에 인삼의 근권관리와 병충해방제에 상당한 전문성이 요구되고 있다. 현장에서 인삼재배지의 토양관리 중요성은 인식하고 있으나 종합적인 토양관리 기술을 실천한다는 것은 상당히 어려운 부분이다.

실제적으로 인삼 재배대상 토양의 선정과 예정지 관리단계에서 중점적으로 강조하고 있는 부분이 질 좋은 유기질자재의 투입으로 토양물리성 개선과 유기태 양분의 보충과정이다. 이와 같이 토양의 물리적 환경을 개선하는데 있어서 통기성이나 배수성과 같은 기존 입지환경 외에 토양입단의 안정성 개선과 유기질 비료를 중요시하는 인삼재배 관리특성상 토양미생물의 역할과 혜택을 간과할 수 없으며, 인삼식재 후 4년째부터 입고병과 잿빛곰팡이병과 같은 병해로 인한 결주 현상은 재배농가의 큰 애로사항으로 대두되고 있으며 해당 병해의 방제를 위한 과다한 농약살포로 수확인삼 중 잔류농약 문제를 야기한 바 있다.

이상과 같은 문제점을 해결하기 위한 대체전략으로 식물의 근권생물 중 기주 식물의 뿌리에 감염되어 기주식물의 수분과 양분흡수의 증진은 물론 토양병원균에 대한 저항성을 갖도록 하는 Arbuscular균근균(AMF)의 혜택을 고려할 수 있다. AMF가 갖고 있는 잠재적 혜택은 1)식물 영양분 흡수 증진, 2)식물 뿌리병원균에 대한 저항성 증진, 3)수분장해에 대한 내성증가, 4)토양안정성 증가(침식/입단안정성), 5)식물다양성 증가 및 6)질소고정 효율제고 등으로 알려져 있다 (Mukerji 등,2000). AMF접종원 활용에 관한 전략은 현재까지의 기술에 의한 접종원 생산에는 상당한 비용이 소요되나 인삼과 같이 고부가가치의 작물에는 활용잠재력이 충분하다고 판단되며, 일반적으로 우리나라 경지토양 중 AMF밀도는 토양 1g 당 3-7개범위(손 등, 2002)의 포자로 자연상태 토양에 비해서 상대적으로

로 낮아 1/5수준밖에 되지 않기 때문에 인위적인 접종에 의해 초기밀도를 높여 줌으로서 묘삼이식 초기부터 AMF감염을 유도하는 것이 바람직할 것이다.

묘삼이식시 AMF접종원을 접종할 경우 묘삼의 길이가 15cm에 달하고 세근이 없어서(그림 1) 관행방법으로 접종한다는 것은 번식체의 감염기회를 충분히 제공할 수 없고, 많은 노동력과 접종원이 추가로 필요하기 때문에 본 연구진이 현장에서 착안한 방법인 묘삼표면에 접종원 번식체가 부착될 수 있는 접착물질과 접종원을 도포한 후 이식하면 그 효과를 극대화할 수 있을 것으로 판단하였다.



그림1-1. 과종 후 1년이 경과된 묘삼

이상의 배경에서 본 연구진은 기존 인삼재배지 토양에서 토착 AMF를 분리·증식하여 묘삼을 본 포장(예정지)에 이식하는 단계에 접종시키는 방법을 확립할 목적으로, 묘삼표면에 AMF번식체(접종원)를 효과적으로 도포시켜 접종할 수 있는 기술을 경제성과 접종효율 측면을 고려해 인삼재배에 토착 AMF의 효과적인 활용방법을 확립하고자 연구를 수행하였다.

### 1. 기술적 측면

기존 인삼재배지에 서식하는 토착 AMF 분리증식한 후, 접종원을 묘삼이식시에 효과적으로 묘삼에 도포시켜서 이식함으로써 본 포장의 낮은 번식체(propagule 또는 infection unit)의 밀도를 높여 주어 본 포장에서 양·수분 흡수이용을 높여 인삼생육과 품질을 향상시키고, 병충해에 대한 내성을 증가시킴으로서 생육후기의 결주율을 감소시켜 6년근 인삼수량성을 제고할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구과제의 기술적 측면에서 필요성을 요약하면 다음과 같다.

- 묘삼이식기 토착 AMF접종원의 효과적인 접종방법 확립
- 기존 인삼재배지내 낮은 토착 AMF 밀도를 높여줌으로서 AMF의 초기 감염유도
- AMF 밀도제고에 따른 양분과 수분흡수 증진으로 인삼생육과 병충해에

대한 내성증가로 품질과 결주율 감소가능

## 2. 경제·산업적 측면

인삼은 과다한 농업자재의 투입으로 인삼재배환경의 악화는 년전의 잔류농약검출이라는 오점을 남김으로서 수출시장개척에 애로를 가져온 바 있다. 더욱이 인삼은 약제나 건강보조 및 기능성식품으로 가공하기 때문에 청정재배방식으로 생육되어야 한다. 따라서 인삼재배에 토착 AMF의 활용은 고수량성과 품질향상으로 잔류농약에 대한 안전성을 확보함으로써 국내의 경쟁력 제고로 소득증대를 가져올 것이다.

- 토착 AMF접종활용으로 수량과 품질향상으로 소득증대 제고
- 인삼의 청정재배가 가능하여 잔류농약 문제해결 가능으로 내수 및 수출증대
- 인삼의 병해충방제를 위한 화학적 살충/살균제 사용의 지양

## 제3절 연구개발 범위와 추진체계

본 연구과제의 접근방법은 그림 1-3의 연구추진체계와 같은 흐름으로 묘삼에 AMF접종에 필요한 접종원을 확보하기 위해 인삼 근권토양으로부터 토착 AMF를 분리한 후 분무경이나 개방 포트재배를 활용하여 약 6개월정도의 기간에 걸쳐 접종원을 증식배양한다.

다음으로 그림 1-1과 같은 1년생 묘삼에 AMF접종원을 접종하는 단계는 일반적인 접종방법인 종자나 유묘의 바로 밑부분에 접종원이 위치하도록 하는 것이 아니라 그림 1-2와 같이 접착물질(액체)이 묘삼표면에 묻게하여 AMF접종물을 부착도포시켜 본 포장에 이식하는 과정을 통해 경제적이고 효과적으로 묘삼의 균근감염을 유발하게 하는 방법을 채택하였다.

여기에서 접착물질의 선발과정이 필요하며, 본 연구진이 고려하고 있는 접착물질은 점성을 갖는 액체를 통해 접종원이 효과적으로 부착할 수 있어야할 뿐만 아니라 미생물에 의해 신속히 분해이용될 수 있는 재료(설탕, 과당 및 소맥분 등) 중 선발한다.

한편 인삼병해의 친환경적 병해방제체계를 수립하기위해 먼저 인삼재배지의

주요 병해발생실태를 파악하고, 포장으로부터 병원균의 분리와 동시에 병균에 대하여 길항성을 갖는 균주를 분리하여 생물적 방제를 실험실과 농가포장에서 실증실험을 수행한다.

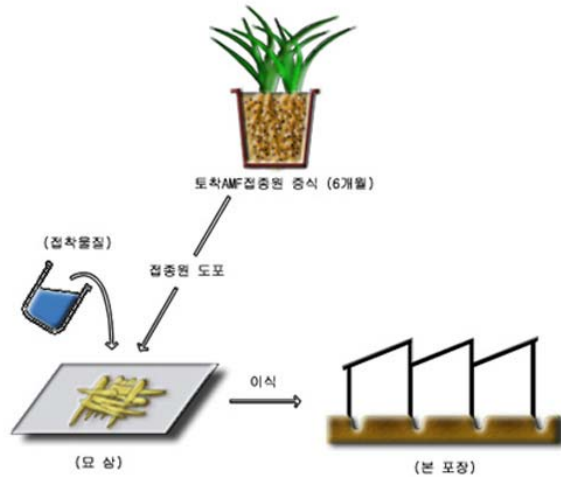


그림 1-2. 묘사이식 단계에 토착 AMF접종원을 접종하는 방법의 흐름도

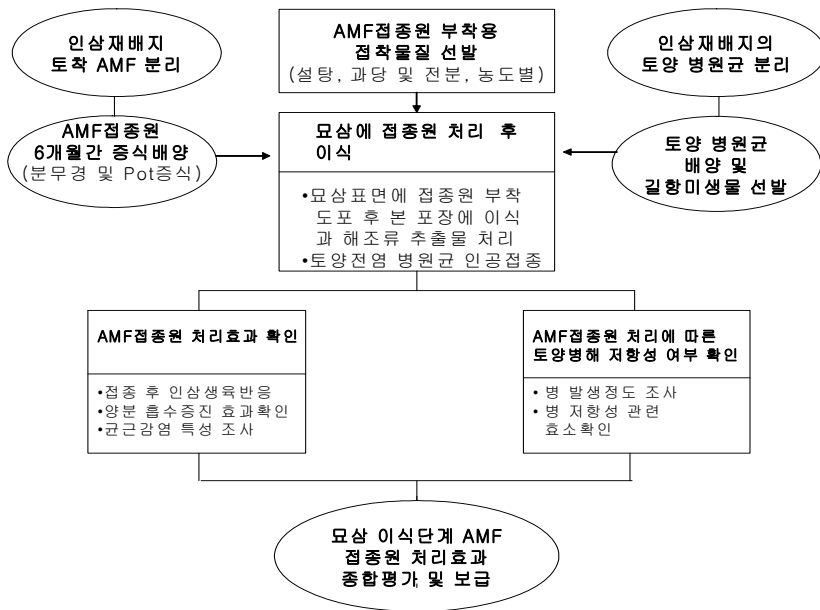


그림 1-3. 연구개발의 추진체계

## 제 2 장 국내 · 외 기술개발현황

### 제1절 국내 기술현황

연구주제인 인삼과 AMF와 관련되는 국내연구로는 박 등(1990)이 보고한 재배 인삼에서 VA균근균의 감염확인을 단보로 보고한 조사연구와 인삼의 근부병 발병억제와 근부율을 낮추는데 AMF(*Glomus albidium* 및 *Acaulospora longular*) 접종효과를 확인한 연구(한 등, 1996)에 그칠 뿐 그 이외의 연구는 전무한 실정이며, 본 연구진에 의하여 일반 원예작물 및 야생녹차 재배지에서 AMF확인과 밀도 및 감염실태, 원예작물 유묘단계에서 접종효과 등에 관한 일련의 연구를 수행·보고한 바(孫 등,1991;孫과 金,1991;孫 등,1992;孫 등, 1994;Kim 등, 2002;Sohn 등, 2003) 있다.

한편, 인삼 육묘와 토양물리적 환경과의 관계를 구명하는 연구(이 등,1995)에서 경도가 낮고 공극율이 높은 조건이 묘삼의 소질과 이식 후 인삼수량과 품질에 좋은 영향을 미쳤다고 보고하였으며, 토양화학성(李 등,1988)과 묘삼의 소질이 본포에서 인삼의 후기생육에 미치는 영향에 대하여 연구 보고하였다(김 등,1980).

또한 작물에 대한 병해를 생물적으로 방제하기 위해 chitin분해 미생물을 선발하여 상품명 미생물치료사로 시판하고 그 효과가 인정되고 있으며, 특히 본 연구진(박서기 교수)에 의해서 방제가가 우수한 chitin분해미생물(미생물치료사)을 선발하여 인삼재배 농가의 포장에 실증실험을 수행하여 그 효과를 확인한 바 있다.

### 제2절 국외 기술현황

외국의 경우는 독일과 캐나다 등에서 미국인삼(American ginseng)에 대한 AMF감염을 확인하고 감염에 관련된 형태적 특성연구(McGonigle 등,1999),

AMF에 감염된 미국인삼의 생장촉진효과와 결주율 감소에 효과가 있음을 보고한 바(Li, 1995) 있으며, AMF는 병원균의 침입에 앞서, 초기에 작물에 AMF접종으로 병균에 대한 내성이나 저항성을 증가시킬 수 있는 바람직한 방법으로 알려지고 있다(Jaizme-Vega 등, 1997;Pinochet 등, 1998). 또한 독일 Marburg대학의 두 교수는 여러 가지 종의 AMF를 인삼에 접종하여 토양형과 토양비옥도 수준과 관련시켜 생육촉진 효과를 검토한 결과를 보고하였고(Zeuske와 Weber, 2000), 인삼도 AMF의존성이 높은 식물 중 하나라고 밝히면서 인삼재배지 토양 중 AMF의 중요성을 강조하였고(Weber,1998) 실제 인삼포장에 AMF밀도를 높게 유지시켜 주는 방안이 다각도로 연구되어야 한다고 강조하고 있다.(Weber 등,1998). 일본의 경우 90년대 초 Ueda 등(1992)은 일본의 약용식물에 대한 AMF감염상태와 몇 가지 종을 동정 확인한 연구보고에서 일본인삼(*Panax shin-seng* Nees.)에 AMF감염을 확인보고 하였으며, 목화를 기주로 한 연구에서 100개의 번식체가 함유된 95g의 토양을 접종하였을 때 15일 후 85%의 감염을 보이는 반면, 10개의 번식체가 함유된 같은 양의 토양을 접종한 처리가 앞의 처리와 같은 수준의 감염을 보이기까지는 42일 후였다고 보고한 바 있다(McGee 등, 1999). 근년에는 AMF균사에서 박리되는 Glomalina이라는 물질이 토양입단 안정화 중요한 역할을 한다는 사실이 밝혀진 바 있어(Wright 등, 1996) 토양입단 안정화 부분에서도 혜택을 가져올 것이다. 또 최근에 미국 농무성의 연구집단은 2006년부터 5년간에 걸쳐 저비용으로 기주식물이 필요없는 AMF접종원을 생산방법에 관한 연구를 수행하고 있는데, 이 연구의 목적은 관행으로 경작하는 소규모농가, 유기농가 및 유묘생산자들이 손쉽게 AMF접종원을 생산 활용할 수 있도록 하는 것이다.

그러나, 이상의 관련기술 현황을 볼 때 인삼에 AMF접종효과만을 언급했을 뿐 접종방법에 대한 접근은 전혀 없는 실정으로 6년근 인삼생산을 목표로 하는 우리나라 인삼 경작자들은 직파하지 않고 묘삼을 이식하는 재배방식을 택하고 있는 실정이므로 AMF접종원의 접종방법에서 새로운 방법이 모색되어야 한다는 생각이다.

### 제3절 추후 전망

사실상 거의 모든 토양은 AMF를 포함하고 있으나, 번식체의 밀도와 균종에 있어서는 차이를 보인다. 또한 수 많은 내부기생체의 종의 분포는 전세계적으로 퍼져 있으나 해당지역마다 분포하는 양상은 매우 다양해질 수 있다. 이상과 같은 관계 즉 식물집단과 토양 중 토착 AMF군락간의 관계는 이미 밝혀진 바 있다 (Wilson과 Hartnett, 1997; van der Heijden 등, 1998). AMF군락은 교란되지 않은 토양이 경작될 때 그 양상이 빠르게 변화될 수 있다. 많은 경우에서 자연적 환경으로부터 농업생태계로의 변환은 화학물질 투입에 따른 단일재배가 흔히 수반하게 되는데 그것은 AMF군락에 커다란 영향을 미치게 한다고 알려진 두 가지 요인인 식물군집과 토양특성을 변화시킬 것이다. 또한 토양 무기성분 함량과 구조는 기주식물의 생육은 물론 균종의 다양성에 영향하기 때문에 AMF의 포장접종을 고려할 경우는 필히 해당 토양의 토착 AMF번식원이 충분한가 또는 효과의 발현여부를 확인하여야 한다.

이상과 관련하여 이미 전남지역 인삼재배지의 토양에 들어 있는 토착 AMF 포자밀도를 조사해본 결과 예상외로 낮은 밀도를 보여 묘삼이식시 따로 증식된 AMF접종원을 도입해준다면 그 효과가 발현될 것으로 기대하고 있다. 그 효과로 기대하고 있는 부분은 인삼생육증진과 내병해충성을 기대하고 있으며 결주율도 낮출 수 있을 것으로 예상하고 있다.

## 제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

### 제1절 전남지역 인삼재배지의 Arbuscular균근균(AMF) 분포특성 및 집중원 증식

#### 1. 서 언

우리나라 인삼의 품질 및 가격은 국제교역량에서 세계적으로 절대 우위를 점하고 있으나 생산량은 그 수요에 따르지 못하고 있는 실정이다. 인삼은 일반작물과 달리 한번 심으면 최소한 15년 동안은 다시 그 곳에 심을 수 없고, 토양과 지형에 따라 수량이 크게 다르므로 인삼에 적합한 토양을 선정하여 재배하고 있다. 그리고 산삼이 자라나는 환경과 가능한 가깝도록 하기 위하여 재배에 맞는 토양을 미리 선정하고 활엽수의 낙엽과 같은 양질의 유기물을 투입하여 1~2년간 인삼의 생장에 알맞은 토양으로 개량한 후 재배농가는 묘삼(苗蔘)을 구입하거나 자체 육묘 이식하여 5~6년 재배관리하고 있다. 최근 인삼재배의 주산지인 유명한 기존 재배지역에서 청정지역으로 옮겨 신규 재배되고 있으며, 인삼은 재배특성상 생육이 느리며 노동집약적 관리를 해야 할 뿐만 아니라 속효성비료나 화학비료의 사용이 제한적이어서 한 곳에서 다년간 생육되기 때문에 인삼의 근권 관리에 상당한 전문성이 요구되고 있다.

이상과 같이 인삼재배지의 토양관리 중요성은 재배자의 경험과 연구기관의 재배지침(김, 2000)에서도 중점적으로 강조하고 있는 부분이 재배대상 토양의 선정과 토양조성 작업인데, 이는 질 좋은 유기질의 투입과 토양물리성을 개선하는 경운과정으로 통기성을 중요인자로 고려하고 있다. 이와 같이 토양의 물리적 환경을 개선하는데 있어서 토성이나 배수성과 같은 기존 입지환경 외에 토양입단의 안정성 개선과 유기질비료를 중요시하는 재배관리 특성상 토양미생물의 역할과 혜택을 간과할 수 없다.

근권 토양에는 토양물리성에 영향을 미칠 수 있는 많은 생물체가 서식하고 있다. 이들은 유기 영양분의 무기화에 관여할 뿐만 아니라 여러 가지 활성물질의 생성 및 토양 입단화 증진물질의 합성, 또는 식물뿌리와 특별한 관계인 협생구조를 구축함으로써 수분 및 영양분의 흡수를 증진시키는 등의 다양한 혜택을 기주식물에게 제공한다.



최근에 들어서 식물의 근권 생물 중 기주식물의 뿌리에 감염되어 기주식물의 수분과 양분흡수를 증진시켜 기주식물 생육에 유익한 영향을 미치는 Arbuscular 균근균(AMF)이라는 토양미생물에 관심이 고조되고 있으며(Kapulnik와 Douds, 2000), 식물에 대한 AMF의 접종효과가 육묘과정이나 미세번식 식물의 초기생육 촉진에 그 효과가 크게 인정되고 있으며(孫 등, 1994; Budi 등, 1998; Blal, 1999; Jaizme-Vega와 Diaz-Perez, 1999; 손, 2000), AMF균사에 의해 생산되는 Glomalin이라는 물질이 토양입자들과 유기물질들을 서로 결합시켜, 토양을 안정화시키는 중요한 역할을 한다는 사실이 밝혀진 바 있다(Hooker 등, 1994; Azcon-Aguilar와 Barea, 1992; Wright 등, 1996). 한편, 토양의 양분 이용율과 토착 AMF 등 토양 상태에 따라 AMF의 작용은 인삼생육을 증진 또는 억제시킬 수 있고, 실제 인삼재배에 AMF를 이용할 것을 제안한 바 있으며(Zeuske와 Weber, 2000), 미국인삼(*Panax quinquefolium* L.)에 AMF를 접종한 결과 대조구보다 결주율이 낮았고, 인삼의 생체중은 41~43%증가됨을 보고하였다(Li, 1995). AMF의 감염양상은 *Arum*-type과 *Paris*-type 두 가지로 구분하는데 인삼뿌리에서는 *Paris*-type이 주로 관찰된다고 하였다(Whitbread등, 1996).

균근균 중 AMF는 외생균근과 달리 자연상태에서 활물기생을 하면서 주로 번식해 간다. 그러므로 AMF번식원은 무균조건에서 식물뿌리 절편을 이용하여 증식시키거나 분무경 방법의 증식과 다양한 기주식물을 활용하여 NFT법이 있으나, 복잡한 장치가 필요 없는 pot를 이용한 AMF접종원 증식이 오래 동안 선호하고 있다.

따라서, 본 연구는 먼저 기존 인삼재배 토양의 AMF분포특성을 조사하고, 다음 실험으로 묘삼에 대한 AMF접종원 처리실험에 필요한 접종원 증식을 위해 수단그라스에 AMF번식체를 접종하여 증식하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 인삼 재배지의 AMF 분포특성

#### 1) 조사대상지역 및 시료채취

전남지역 주요 인삼재배지역인 곡성, 영광, 영암, 해남지역 4개 군, 58개 지점에서 시료를 채취하였다. 인삼뿌리 채취는 각 지역별, 재배년수별로 채취하였고, 감염여부 확인을 위해 채취한 뿌리를 수세한 후 Formalin acetic acid 용액(FAA, 10ml formaline + 5ml Acetic acid + 200ml Ethylene)에 고정하여 실험에 이용하였다. 토양은 인삼 근권에서 500g~1kg 정도를 채취하여 4℃의 저온냉장고에 보관하였으며, 일부는 풍건하여 2mm체로 사별한 후 토양 물리·화학적 분석에 사용하였다.

## 2) 조사지역 토양의 화학적 특성

토양의 화학적 특성은 수소이온농도(pH), 토양유기물함량(O.M), 유효인산(Av-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 총질소(T-N), 치환성염기(K, Ca, Na, Mg), 염기치환용량(CEC)을 토양화학 분석법(농촌진흥청농업기술연구소, 1989)에 준하여 분석하였다. pH는 초자전극법, 토양유기물함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 총질소(T-N)는 Kjeldahl 증류법, 치환성염기를 측정하기 위해서 1N-NH<sub>4</sub>OAC용액으로 침출시켜 ICP(Optima 3300DV, Perkin-Elmer, U.S.A)를 이용하여 분석하였다.

## 3) 포자밀도 조사와 크기별 분류

포자 분리방법은 습식 사별법(Daniels과 Skipper, 1982)을 이용하여 토양의 포자를 분리하여 4℃에 보관하면서 실체 현미경(Zeiss, Stemi 200-C, Germany)하에서 계수하였으며 AMF의 크기별 분포조사를 위해 각 지역별로 대표지점에서 채취한 토양시료를 1차 사별 후 체 크기(500 $\mu$ m, 354 $\mu$ m, 250 $\mu$ m, 106 $\mu$ m, 45 $\mu$ m)별로 분획하여 실체 현미경하에서 계수 하였다.

## 4) AMF감염 및 감염구조

인삼 뿌리에 대한 균근균 감염을 조사는 Phillips와 Hayman(1970)의 방법으로 염색하였으며 그 방법은 다음과 같다. Formalin Acetic Acid(FAA)용액에 저장된 인삼뿌리를 약 1cm길이로 자른 후 10% KOH용액으로 90℃의 온도에서 뿌리의 생태에 따라 20~30분간 처리하여 증류수로 3~4회 행구어낸 후 0.1% Chlorazol black E염색액(Brundurtt 등, 1984)으로 염색한 후 50% glycerol로 탈색하였다. 감염을 및 감염특성은 Mcgonigle 등(1990) 법으로 염색된 뿌리절편을 AMF의 감

염구조인 수지상체(arbuscule), 낭상체(vesicle), 균사(hyphae)를 현미경(Olympus, PM-20, Japan)하에서 관찰하여 5mm내의 감염구조 존재여부를 %로 나타내었다.

#### 5) AMF외생균사(External hyphae)추출 및 길이

Hyphae 추출은 Miller와 Jastrow(1992)의 방법으로 생토 5g에 증류수 250ml과 분산제(Calgon) 31ml 넣고 30분간 방치한 후 1분 동안 교반하여 일정한 높이에서 12ml 취하였다. 그리고 증류수 125ml을 넣어 교반한 후 동일한 높이에서 5~30ml 취하여 0.45 $\mu$ m membrane filter로 여과한 다음 0.05% trypan blue 용액으로 염색한 후 현미경(Olympus, PM-20, Japan)하에서 계수하여 계산하였다(Tennant. 1975; Abbott, 1984).

### 나. 토착 AMF증식재배

#### 1) 인삼재배 토양 중 토착 AMF분리

그림 3-1은 인삼재배 토양으로부터 습식사별에 의해 1차 분리한 포자(그림 3-1의 A)와 2차 분리 후의 AMF 포자를 나타내며, C와 D는 *Glomus* 속의 개별 포자를 슬라이드상에서 깨뜨려 촬영한 모양이다. 그림에서 보는 바와 같이 지지 균사, 후막포자벽 및 포자 내용물을 확인할 수 있다. 이와 같은 습식사별된 AMF 번식체들은 접종원 증식에 이용하였다.

#### 2) AMF접종원 증식을 위한 치상

AMF접종원 확보를 위해 8L들이 4각 pot에 멸균시킨 강모래와 양질 밭토양을 1:2(v/v)비율로 충전하고 밭아시킨 수단그라스 종자를 파종하면서 미리 사별 준비한 토착 AMF포자를 종자주위에 접종한 후 유리온실에서 6개월 동안 증식하여 다음 단계의 실험에 접종원으로 사용하였다.

#### 3)AMF집락정도와 포자밀도 계수

온실에서 재배 중인 pot의 기주식물 뿌리를 경시적으로 염색하여 감염구조를 현미경하에서 확인하여 감염율을 조사하고 따로 기주식물의 근권토양을 습식사별하여 실체현미경을 이용하여 계수하였다.

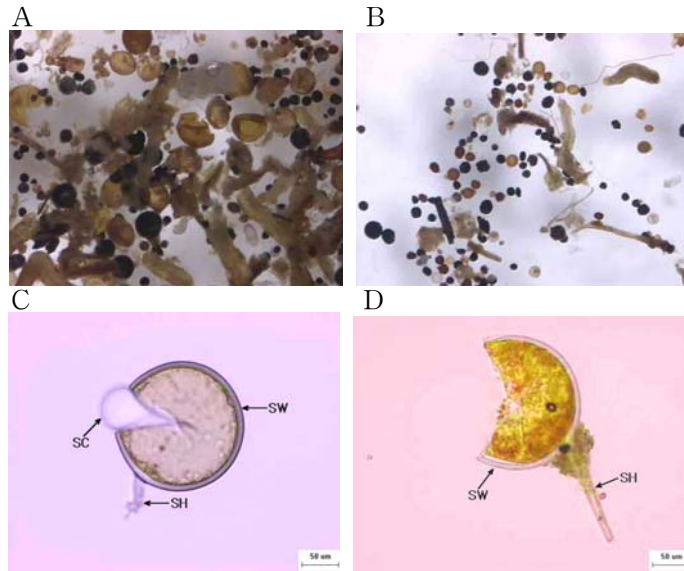


그림 3-1. 인삼재배 토양으로부터 분리한 AMF포자

A와 B : 1차 습식사별 후의 포자, C와 D : 2차 분리 후의 *Glomus* sp. 포자,  
C와 D 포자 단면(SC, 포자내용물; SW, 포자벽; SH, 지지균사)

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 인삼재배지 AMF분포특성

##### 1) 인삼 재배지 토양의 화학적 특성

전남 인삼재배지역의 토양의 화학성을 조사한 결과는 표 3-1과 같다. 표에서 지역별 평균값을 보면 전반적으로 EC값, 유효인산 함량 및 치환성 칼리함량이 권장기준치 보다 높은 지역이 파악되었다. 곡성군 지역은 인삼 재배지의 pH 권장기준과 비교하였을 경우 지역별 평균값은 5.85로서 권장기준 5.0~6.0에 적합하였으나 3년근과 4년근은 다소 높았고 5년근은 약간 낮은 경향을 나타냈다. 영광군 지역의 경우 평균 pH값이 기준보다 약간 높았으며 2, 3 및 5년근 재배지의 경우 높게 나타났다. 영암군 지역의 평균 pH는 5.68로 적절한 수치를 나타냈으며, 해남군 지역의 pH값은 5.33으로 나타났다. 토양유기물 함량의 경우 곡성군

지역이 0.80%로 권장기준 2~3%보다 낮았고, 전국 평균값인 1.9%보다도 낮은 수준이었다. 영광(0.82%), 영암(0.56%), 해남(0.56%) 지역 역시 유기물의 양은 낮게 나타났다. 유효인산의 경우 인삼재배지의 권장기준 값인  $70\sim 200\text{mg kg}^{-1}$  보다 곡성군 지역( $460.37\text{ mg kg}^{-1}$ )과 영광군 지역( $352.25\text{mg kg}^{-1}$ )이 높은 함량을 보여 적절한 시비 조절이 필요하다. 영암군 지역( $214.07\text{mg kg}^{-1}$ )과 해남군 지역( $74.27\text{mg kg}^{-1}$ )은 권장기준인 최대값( $200\text{mg kg}^{-1}$ )과 최소값( $70\text{mg kg}^{-1}$ )과 유사한 값을 보였다. 치환성 양이온(Ex-Cations)은 모든 지역에서 칼륨(K)값이 높은 편으로 나타났다. 또한 그 외 치환성염기의 함량은 적정치 수준으로 문제가 없는 것으로 판단되었다.

이상의 토양분석결과를 고려할 때 과부족 성분들의 문제점을 개선하기 위해서는 균형시비가 필요하며, 특히 인산과 같은 성분은 토양에서 쉽게 이동이 되지 않기 때문에 인삼재배 예정지 관리시 심경과 객토와 같은 방법을 활용하여 토양을 충분히 교란함으로써 경토 중 과량 함유된 성분의 희석효과를 고려해야 할 것으로 판단된다.

표 3-1. 인삼재배지 토양시료채취지점의 화학적 특성

시료채취지역	pH (1:5)	EC (dS/m)	O.M (g/kg)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Ex.-Cations			CEC (cmol/kg)	
						K	Ca	Mg		
구성										
1년근	5.71	0.17	11.80	0.08	509.75	0.84	1.68	1.07	0.17	5.66
2년근	5.92	0.07	9.90	0.19	621.48	0.71	2.70	1.16	0.27	7.18
3년근	6.38	0.08	6.60	0.09	502.88	0.78	2.52	1.11	0.17	5.61
4년근	6.38	0.08	7.40	0.07	486.01	0.76	2.66	1.11	0.28	5.83
5년근	4.87	0.09	4.20	0.06	181.70	0.52	1.47	0.73	0.03	6.56
평균	5.85	0.10	8.00	0.10	460.37	0.72	2.20	1.03	0.18	6.17
영광										
1년근	5.72	0.06	10.00	0.09	544.41	0.98	2.41	0.79	0.23	7.94
2년근	6.59	0.07	9.40	0.36	337.97	0.76	3.72	1.73	0.22	11.19
3년근	6.74	0.11	7.80	0.29	654.63	0.41	5.03	1.52	0.33	8.68
4년근	5.43	0.09	7.60	0.33	81.24	0.78	2.36	0.71	0.21	6.70
5년근	6.48	0.08	7.60	0.48	165.77	0.78	3.94	0.92	0.29	7.62
6년근	5.16	0.11	6.60	0.51	329.49	0.47	2.40	1.28	0.32	8.35
평균	6.02	0.09	8.20	0.34	352.25	0.70	3.31	1.16	0.27	8.41

(표 3-1. 계속)

시료채취지역	pH	EC (dS/m)	O.M (g/kg)	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Ex.-Cations			CEC (cmol/kg)	
						K	Ca	Mg		
영암										
1년근	5.70	0.19	7.60	0.08	349.12	0.34	2.54	1.50	0.35	6.72
2년근	5.28	0.09	5.40	0.08	150.16	0.52	2.89	1.47	0.33	9.38
3년근	6.37	0.24	2.60	0.05	137.51	1.05	2.96	1.86	0.46	7.06
4년근	5.28	0.96	4.60	0.08	284.27	0.41	3.45	1.05	0.32	9.26
5년근	5.77	0.13	7.80	0.12	149.31	0.33	3.48	1.90	0.25	9.32
평균	5.68	0.32	5.60	0.08	214.07	0.53	3.06	1.55	0.34	8.35
해남										
2년근	4.97	0.09	4.40	0.06	38.27	0.36	2.05	0.74	0.36	8.41
3년근	5.66	0.16	6.80	0.08	74.05	0.86	3.24	1.30	0.35	8.57
4년근	5.49	0.19	4.60	0.07	85.97	0.47	2.76	0.85	0.31	7.10
5년근	5.71	0.15	5.20	0.11	44.02	0.77	3.67	1.39	0.24	8.78
6년근	4.80	0.28	4.00	0.01	129.02	0.86	1.92	0.83	0.40	8.41
평균	5.33	0.17	5.00	0.07	74.27	0.66	2.73	1.02	0.33	8.25
권장수준	5.0-6.0	0.05-0.1	2.0-3.5		70-200	0.2-0.5	2.0-4.5	1.0-3.0		

## 2) 인삼재배 지역별 포자밀도

### 가) 재배년수에 따른 포자밀도

재배지역별 평균 포자밀도는 그림 3-2에서와 같이 전반적 경향은 건토 g당 3.4~5.9개 수준을 나타내고 있으며, 곡성(5.9개), 해남(5.7개), 영암(3.6개), 영광(3.4개)의 순서로 낮아졌다. 인삼을 재배하지 않은 주변토양은 인삼 재배지보다 많은 6.3~14.7개 범위를 보였다. 이와 같이 인위적으로 교란되지 않은 토양이 AMF포자밀도가 높게 나타나는 이유는 항상 자연 상태로서 연속적으로 기주와 AMF간에 협생관계를 유지하며 경작과 경운을 수반한 인위적 수단이 가해지지 않았기 때문이며 특히 질소(N)와 인산(P)성분이 낮게 유지되기 때문으로 해석된다(Ratnayake 등, 1978; Jasper와 Robson, 1979; Chambers, C. A. 등 1980).

지역별 특성을 살펴보면 인삼 근권토양의 지역에 따른 년수별 건토 g당 포자 밀도는 곡성군 지역의 1년근과 2년근 포장이 높은 밀도로 각각 5.3개, 6.4개를 보였고, 3년근 포장에서도 8.8개 수준으로 높은 밀도를 보였다. 4년근에서는 영광군 지역이 7.1개의 높은 수준을 나타냈고, 5년근 토양은 영암군 지역이 9.0개를 보였으며 6년근의 경우는 영광군과 해남군 지역 중 해남군 지역이 높은 밀도로 8.0개를 보였다. 조사지역 모두 재배년수가 증가하면서 포자밀도가 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 인삼 재배년수가 증가하면서 AMF에 대한 의존도가 높아짐을 알 수 있다. 조미채소 재배지의 토양 화학성에 따른 균근균 분포 특성에 관한 연구 발표(손 등, 2003)에 따르면 작물 경작지별 분리된 포자밀도에서 토양 1g당 포자 수는 양파 12.1, 마늘 11.7, 고추 10.1개 순의 밀도분포를 보였으나 본 인삼재배 조사지역의 포자밀도는 토양 1g당 4.4~7.0개의 밀도분포를 보여 조미채소 재배지 토양보다 낮은 포자밀도 분포를 나타냈다.

### 나) 포자크기별 분포

지역별 인삼 재배지에서 포자밀도가 가장 높은 곡성(3년근), 영암(4년근), 영광(5년근), 해남(6년근)지역에서 추출 분리된 포자를 크기별로 계수한 결과 조사지역 모두 포자 크기가 작은 분획에서 포자 밀도가 높게 나타났고, 주로 45~250 $\mu$ m 포자크기가 분포하고 있으며 45~106 $\mu$ m범위에서 가장 많은 포자 밀도를 보였다(표3-2).



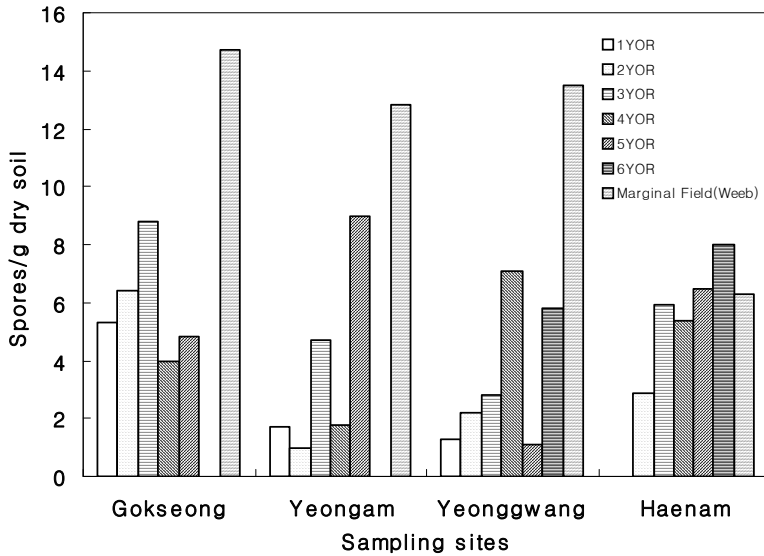


그림 3-2. 인삼재배 연수별 AMF 포자밀도 변화

이는 그 크기에 범위에 가장 많이 존재한다는 *Glomus*속과 *Acaulospora*속이 우점하는 것으로 추정할 수 있다(Schenck N.C.와 Yvonne Perez, 1990). 분리에 사용한 체의 눈금이  $250\mu\text{m}$ 이상이므로 큰 분획에서는 자연토양인 생토 30g당 10개 미만으로 매우 낮은 포자 밀도를 보이며 그 크기 범위에 많이 존재하는 것은 *Gigaspora*속과 *Scutellispora*속으로 추정되었다. 이러한 밀도차이는 AMF포자의 크기가 큰 것은 자연상태의 토양과는 다르게 지속적인 교란과 또한 자체의 생태 생리적인 열세로 인한 결과로 해석한바 있다(Heteick, 1986; Smith와 Read, 1997).

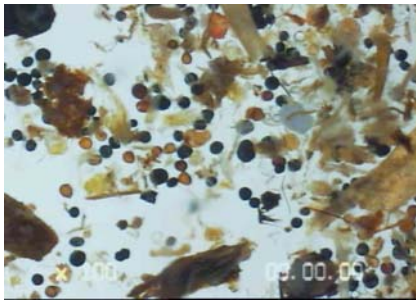
습식사별 분리한 포자의 사진을 그림3-3에 표시하였다. 사진 A, B 및 C는 비교적 포자밀도가 낮은 인삼재배 토양에서 분리한 포자모습이며, D, E 및 F 사진은 포자밀도가 높은 지점과 포장주변의 자연상태의 토양에서 분리된 포자모습으로 황갈색의 포자를 띠고 있음을 확인할 수 있다. 그리고 사진 G~I의 사진은 분리된 포자 중 검은색을 띠는 포자가 많은 것을 볼 수 있는데, 이러한 포자는 활성이 없고 발아력을 상실한 포자로 추정된다.

표 3-2. 인삼재배토양 중 포자크기별 분포

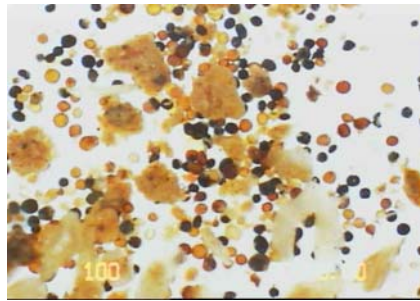
시료채취 지역	AMF포자수 / 30g 신선토양					Total
	>500 $\mu$ m	354~500 $\mu$ m	250~354 $\mu$ m	106~250 $\mu$ m	45~106 $\mu$ m	
3년근(곡성)	5(4.67)**	0(0)	5(4.67)	18(16.82)	79(73.84)	107(100)
5년근(영광)	0(0)	1(0.95)	1(0.95)	9(8.57)	94(89.53)	105(100)
4년근(영암)	2(2.2)	4(4.39)	3(3.3)	7(7.69)	75(82.42)	91(100)
5년근(해남)	0(0)	4(4.17)	0(0)	20(20.83)	72(75)	96(100)
곡성 2년근 부근토양(잡초)	1(0.09)	7(0.63)	11(0.99)	217(19.5)	877(78.79)	1113(100)
영광 5년근 부근토양(잡초)	3(0.19)	4(0.26)	3(0.19)	461(29.78)	1077(69.58)	1548(100)
영암 5년근 부근토양(잡초)	0(0)	10(1.33)	54(7.18)	125(16.62)	563(74.87)	752(100)
해남 5년근 부근토양(잡초)	1(0.38)	2(0.78)	6(2.33)	24(9.3)	75(87.21)	258(100)
평균치	1.5(0.3)	4.0(0.8)	10.4(2.1)	110.1(22.5)	364.0(74.3)	490.0(100)

( ) : 포자크기별 분포율

A



B



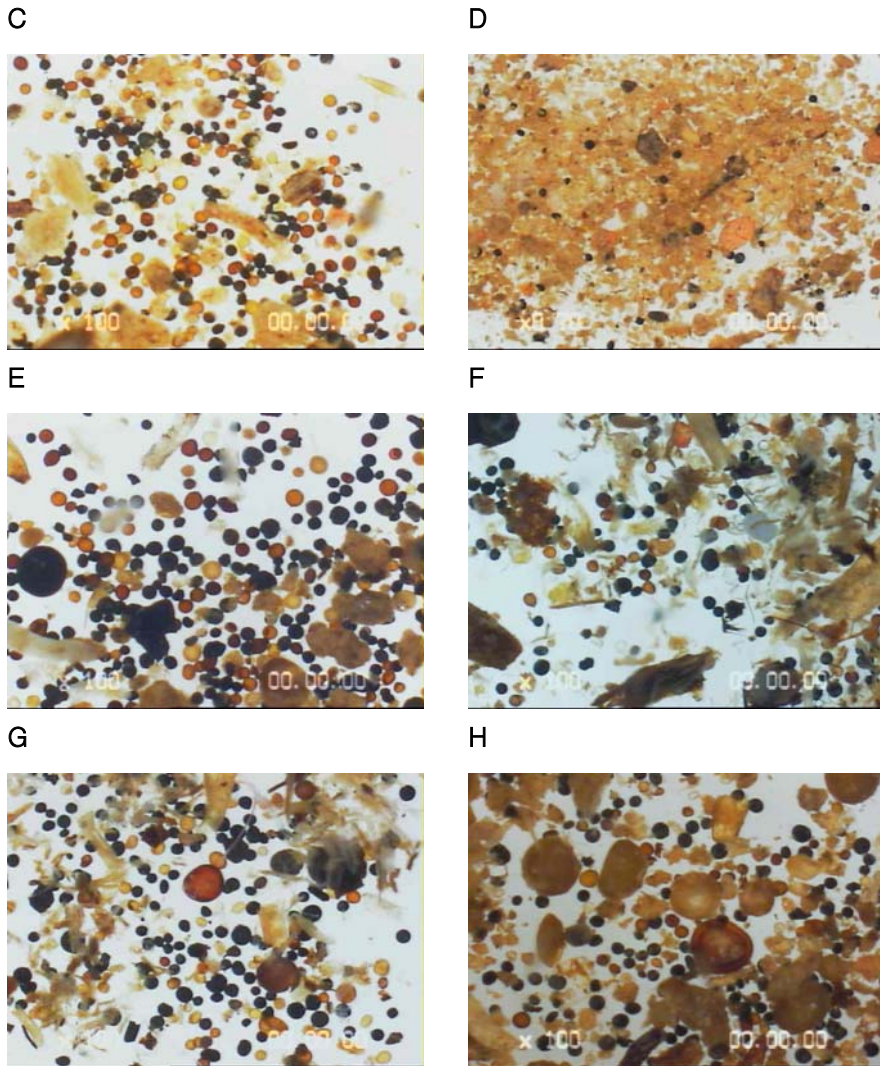


그림 3-3. 인삼재배 토양에서 분리된 다양한 AMF 포자모양.

### 3) AMF 감염을 및 외생균사(External hyphae) 길이

#### 가) 감염양상

인삼뿌리를 염색한 후 현미경하에서 감염양상을 관찰한 결과는 그림 3-4와 같

다. 그림 3-4의 A에서 보는 바와 같이 기주식물이 인삼과 AMF사이에서 무기영양분과 광합성 산물의 교환 장소(Smith와 Read, 1997)로 알려진 수지상체(Arbuscule)가 형성되어 있음을 보여준다. 또, 그림 3-4의 B에서 화살표(→)로 나타낸 균사 구조가 인삼뿌리의 표피세포에 분리되어 있으며 이 내부균사(internal Hyphae)를 통해 수분과 무기양분을 흡수하는 뿌리의 연장 역할을 한다(Smith와 Read, 1997). 그림 3-4의 C와 D에서는 인삼뿌리에 감염되어 있는 균사와 자낭체(vesicle)를 나타낸다.

그림 3-5의 사진은 AMF의 두 가지 감염 양상을 보여주는데 그림 A, B는 *Paris-type*으로 보통 음지식물에서 관찰되며(Gallaud, 1905), Smith와 Smith(1997)의 보고에 의하면 미국인삼은 *Paris-type*으로 Arbuscules와 Vesicles의 마디 사이에 hyphal coil을 이루며 발달하고 세포안에서 세포안으로 감염되어 있음을 확인하였다(Whitbread 등, 1996). 기주식물로부터 광합성산물의 섭취가 적기 때문에 hyphal coil의 생성과정은 매우 느리지만 계속적으로 진행되며 감염이 끝날 시기에는 Arbuscules coil과 hyphal coil 구성물이 비슷한 양으로 형성된다고 보고하였다. 또, 주근(主根)의 건물량은 18%감소하였지만, 측근의 길이는 15%증가하였다고 보고한 바 있다(McGonigle 등, 1999). 그리고 그림 3-5의 C, D는 형태적, 생리학적으로 자주 연구되어진 *Arum-type*으로서 세포벽과 세포벽 사이에 빠른 속도로 감염되며 광합성이 활발한 화분과 식물에서 흔하게 볼 수 있다(Smith와 Smith 1996, 1997).

본 연구의 인삼뿌리에서 관찰한 결과 *Arum-type*보다는 *Paris-type*을 많이 관찰할 수 있었으며 이는 Whitbread 등(1996)의 조사결과와 같은 감염양상을 보였다.

표 3-3과 그림 3-6은 각 지역별로 인삼재배지역에서 AMF감염율을 조사한 결과이다. 곡성, 영암군 지역의 1, 2, 3년근과 영광군 지역의 4, 5, 6년근은 재배년수가 증가하면서 감염율도 증가하는 경향을 나타냈고 지역별 평균 감염율은 영암>곡성>영광>해남 순으로 높게 나타났다. 포자밀도와 비교 분석한 결과 밀도와 감염율의 상관관계를 확인할 수는 없었다.

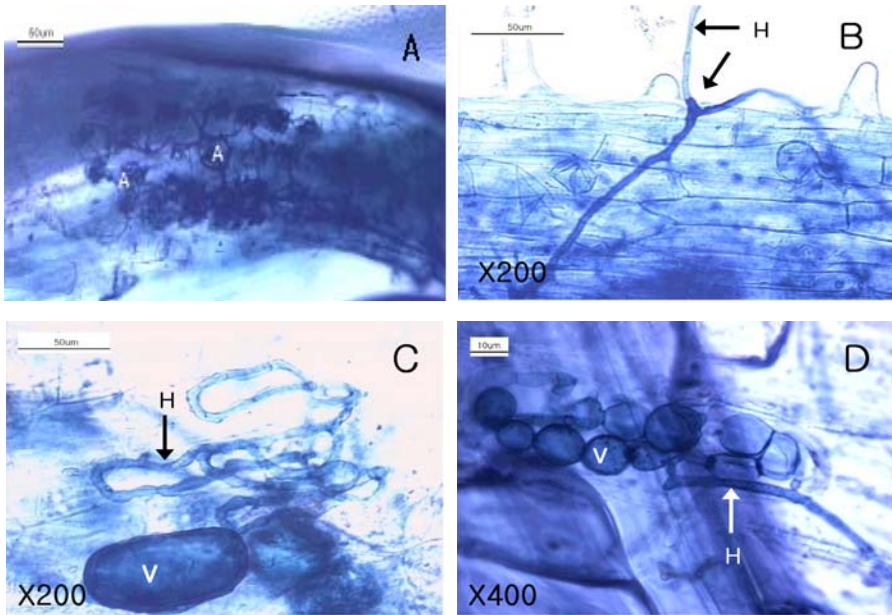


그림 3-4. 인삼 세근 중 AMF 감염양상.

[A : Arbuscule(A), B : An epidermal cells and external hyphae(EH),  
C and D : Vesicle formed by hyphae]

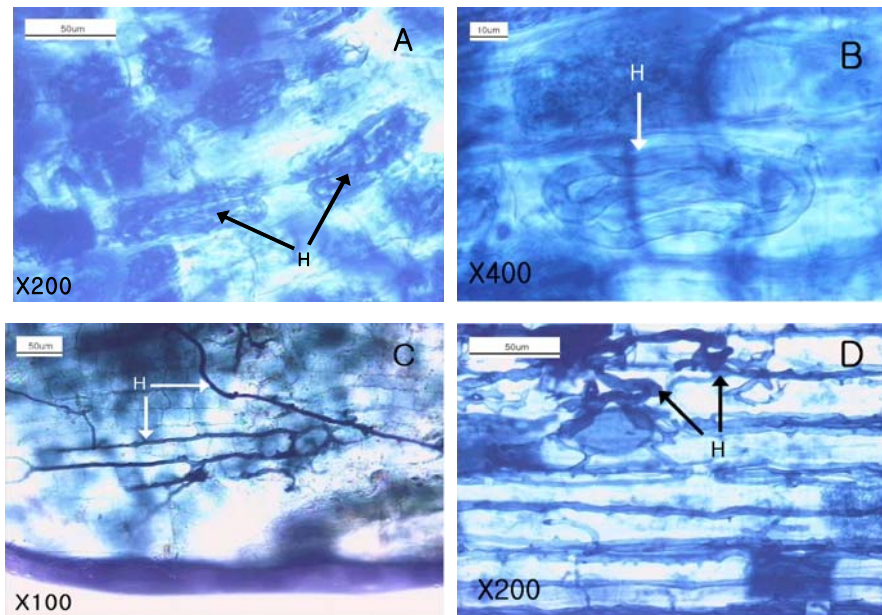


그림 3-5. 균근감염구조에서 *Paris* 와 *Arum*-type

[A, B : *Paris*-type hyphae(H), C, D : *Arum*-type hyphae(H)]

나) AMF 외생균사(External hyphae) 길이

표 3-4는 인삼 재배지 근권토양의 인삼 재배년수별 건토 g당 외부균사 길이를 조사한 결과이다. 외생균사는 기주식물 뿌리에 감염되어 수분과 양분흡수를 증가시키고 토양입단의 안정화를 높여주며 또한, 침식으로 인한 토양 입단파괴를 감소시킨다고 알려져 있다(Miller와 Jastrow, 1992; Tisdall, 1994; Wright와 Upadhyaya, 1996).

재배지역별 외부균사의 길이는 평균 1.39~2.48m g<sup>-1</sup> 범위를 보이며, 그 중 영광군 지역이 2.48m g<sup>-1</sup>로 높게 조사되었다. 이는 지역별 포자밀도 조사와 재배년수에 따른 포자밀도 조사와 비슷한 경향을 보였고 재배년수별 외부균사의 길이는 5년근과 6년근 포장은 영광군 지역이 3.58m g<sup>-1</sup>, 4.39m g<sup>-1</sup> 수준으로 타 조사지역보다 외부균사의 길이가 2~3배 긴 것으로 조사되었다. 또한, 곡성군과 영광군 지역은 재배년수가 증가 할수록 외부균사의 길이도 긴 것으로 나타났으며, 재배년수가 증가 할수록 포자밀도가 증가하는 조사결과와 일치하는 결과를 보였다.

밭 토양의 외부균사길이가 50m g<sup>-1</sup>로 조사보고된 바 있으며(Smith와 Read, 1997; Tisdall, 1994), 오스트레일리아의 달구지풀은 건토 g당 3.1m g<sup>-1</sup> (McNaughton과 Oostenheld, 1990), Serengeti의 잡초는 0.03~6.95m g<sup>-1</sup> (Tisdall과 Oades, 1979)로 조사되었다. 이에 비교하였을 때 우리나라 인삼재배지 토양은 1.39~2.48m g<sup>-1</sup>로 낮은 수준으로 나타났다.

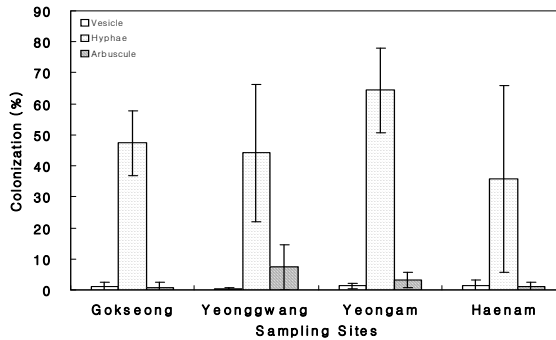


그림 3-6. 인삼재배지역별에서 AMF감염율

표 3-3. 인삼재배지역별 AMF 감염율

구분	AMF 감염율(%)				
	Vesicle	Hyphae	Arbuscule	Total	
곡성	1년근	0	46.43	0	46.43
	2년근	0	55.26	3.90	59.16
	3년근	3.31	59.63	0	62.94
	4년근	0	32.75	0	32.75
	5년근	1.81	42.49	0	44.30
평균	1.02	47.31	0.78	49.11	
영암	1년근	0.76	47.40	4.82	52.98
	2년근	1.62	69.26	4.60	75.48
	3년근	0.64	82.03	5.54	88.21
	4년근	2.75	68.80	1.49	73.04
	5년근	0.66	54.35	0	55.01
평균	1.29	64.37	3.29	68.95	
영광	1년근	0	61.99	0	61.99
	2년근	0	30.85	14.80	45.65
	3년근	0	9.68	0	9.68
	4년근	0	37.24	16.56	53.80
	5년근	0	58.30	7.97	66.27
	6년근	1.32	66.82	4.58	72.72
평균	0.22	44.15	7.32	51.69	
해남	2년근	3.35	68.36	2.75	74.46
	3년근	4.01	50.95	1.38	56.34
	4년근	0	5.63	0	5.63
	5년근	0	19.28	0	19.28
	6년근	0	17.16	0	17.16
	평균	1.47	32.28	0.83	34.58

표 3-4. 인삼재배지역별 AMF 외부균사길이

Sampling Sites	Hyphae Length(m dry soil g <sup>-1</sup> )
2YOR*	0.46
3YOR	1.04
5YOR	3.03
1YOR Marginal field	1.02
Average(Gokseong)	1.39
3YOR	0.92
5YOR	3.58
6YOR	4.39
5YOR Marginal field(tomb)	1.04
Average(Yeonggwang)	2.48
2YOR	0.75
3YOR	1.86
4YOR	1.51
5YOR Marginal field(tomb)	1.73
Average(Yeongam)	1.46
3YOR	1.76
4YOR	1.36
5YOR	0.79
5YOR Marginal field(tomb)	2.17
Average(Haenam)	1.52
Total Average	1.71

\*YOR : Years Old Root

#### 나. AMF접종원 증식결과

##### 1) AMF접종원 증식을 위한 생육상

그림 3-7의 좌측 사진은 기주식물 파종과 동시에 AMF 포자를 접종한 후 1주



일 경과한 사진이며, 그림 3-7의 우측 사진은 증식 6개월 후 pot를 건조시키는 중인 사진이다.

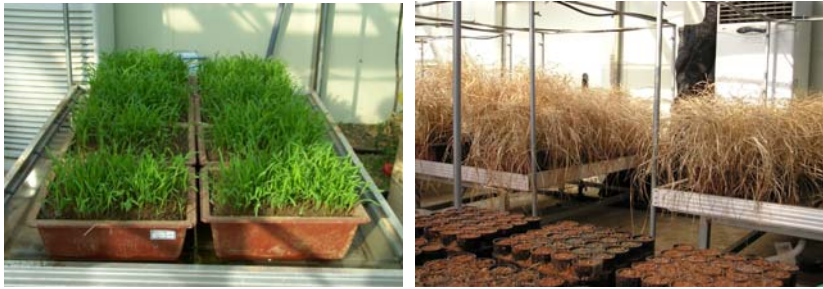


그림 3-7. 수단그라스를 이용한 토착 AMF접종원 증식초기단계(좌)와 증식완료 후(우)의 모습

## 2)AMF접종원 생산

기주식물 수단그라스에 인삼재배 토양에서 분리한 포자를 접종하여 6개월간 증식한 후 급수를 중단하고 건조시켜서 기주식물 뿌리와 배양토를 균질화하여 증식된 접종원은 총 150kg를 얻었으며, 접종원의 포자수는 30g당 554±34개를 나타내 배양토 g당 포자수는 18.5개로 환산되었으며, 기주식물 뿌리의 감염정도는 87%이상으로 나타났다. 그림 3-8은 기주식물의 뿌리를 염색하여 AMF감염구조(A와 B)들을 보여주고 있으며, 그림 3-8의 C는 증식된 포자를 분리하여 실체현미경에서 촬영한 모습이다.

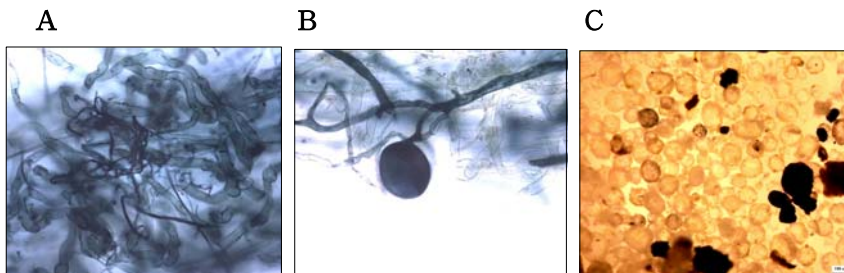


그림 3-8. 기주식물 수단그라스 뿌리에 감염된 감염구조(A와 B)와 증식된 *Glomus*속 포자모양(C)

#### 4. 결과요약

전남지역 인삼재배지의 토착 Arbuscular균근균(AMF) 분포와 감염특성을 파악하기 위해서 전남 곡성, 영광, 영암, 해남군지역을 대상으로 토양과 인삼시료를 채취하여 조사하고, 예정지 관리를 위해 기주작물을 처리하여 AMF 밀도 변화와 토양특성을 조사하였다.

조사지역의 전체 평균 포자밀도는 건토 g당 3.4~5.9개 범위였으며, 재배년수 3년까지는 포자밀도가 다소 증가하는 경향을 보였다. 반면에 자연상태의 토양 중 AMF 포자밀도는 6.3~14.7개의 범위를 보여 인삼재배지 보다 포자밀도가 높게 나타났다. 포자크기별 분포는 직경 45~106 $\mu$ m범위가 74.3%로 높은 빈도분포를 보였다. AMF 감염 양상은 *Paris*-type이 주로 확인 되었다. 평균 감염율은 영암지역이 높게 나타났고(64.4%), 그 외 지역은 40~50%범위를 보였다.

조사지역의 근권토양 중 AMF 외생균사 길이는 건토 g당 0.5~4.4m g<sup>-1</sup>범위였으며 인삼의 재배여년수가 길어짐에 따라 hyphae의 양이 많아졌다.

6개월간 증식된 집종원은 총 150kg였고 평균 포자수는 30g당 554 $\pm$ 34개를 나타냈으며, 1g당 포자수는 18.5개로 환산되었다.

## 제2절 인삼재배 예정지 토양의 AMF번식체 밀도향상 방안연구

### 1. 서 언

인삼은 반음지식물로 6년간에 걸쳐 서서히 양분을 흡수하므로 내비성과 내병성이 약한 것으로 알려져 있다. 더구나 인삼의 세근은 표피가 얇고 내부에는 수분이 다량 함유되어 있어 내비 내병성이 약할 수 밖에 없다. 이상과 같은 특성을 지니고 있어서 인삼의 생육이 한 장소에서 장기간 정상적으로 유지되려면 토양의 물리성이 양호하여 배수성과 보수성이 동시에 확보되고, 적당량의 무기영양분이 지속적으로 공급될 수 있는 여건을 미리 조성해 주어야 한다.

이를 위해서 토양의 양분공급 위주보다는 토양의 물리성을 개선위주로 유기물 시용과 적당한 경운 등을 포함하는 예정지 관리라는 묘삼이식 전 2년간의 철저한 토양관리가 필요하다. 우리나라 대부분의 토양은 유기물 투입량이 적을 뿐만 아니라 화학비료 과다시비로 인하여 인삼재배에 필요한 적정양분 이상으로 축적되어 있는 것이 커다란 문제점으로 인식되고 있다. 실제 고품질 고수량의 인삼을 생산하는 인삼재배 농가의 경우를 보면 예정지 관리과정에서 볏짚과 쌀겨 등을 다량 투입하고, 동절기와 하절기 목초들을 번갈아 재배하면서 유기물의 투입량을 늘여주며, 심경작업을 통해 유기물의 부숙화를 촉진시키며, 토양미생물의 활성을 증대시키는 관리방법을 택하고 있다.

결과적으로 인삼의 수량성 제고를 위해 인삼생육에 적합한 토양환경 조성을 꾀하려면 토양의 물리, 화학 및 생물성의 개선이 동시에 이루어져야 하는 것이다. 이를 위해서는 양분의 공급, 심경 및 적절한 목초종의 재배 등이 고려되어야 하며, 특히 유기물 생산량이 많고 유익한 토양미생물상의 밀도가 높아 이들이 주는 혜택을 충분히 활용해야 할 것이다.

따라서 본연구에서는 인삼재배 예정지 관리단계에서 몇 가지 기주식물의 작부 방식을 다르게 처리하여 AMF밀도를 향상시킬 수 있는지의 여부를 확인하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 처리내용

기주식물 재배여부에 따른 AMF 밀도의 경시적 변화를 파악하고자 인삼재배지 환경과 유사한 포장을 선정, 대조구와 기주식물을 겨울작물/여름작물 재배구로 나누어 먼저 겨울작물인 보리, 귀리를 재배 후 여름작물인 수단그라스와 콩을 이어짓기로 재배하였다.

표3-5. 기주식물의 처리조건

처리	겨울작물	여름작물	참고
Control I	Control I	Control	Plowing only
Control II	Control II	Soybean / Sudangrass	Sow a field with summer crops after plowing
Barley	Barley	Soybean / Sudangrass	Winter crops in corporated with soil oo after heading stage/sowing of smmmer crops
Rye	Rye	Soybean / Sudangrass	Same above

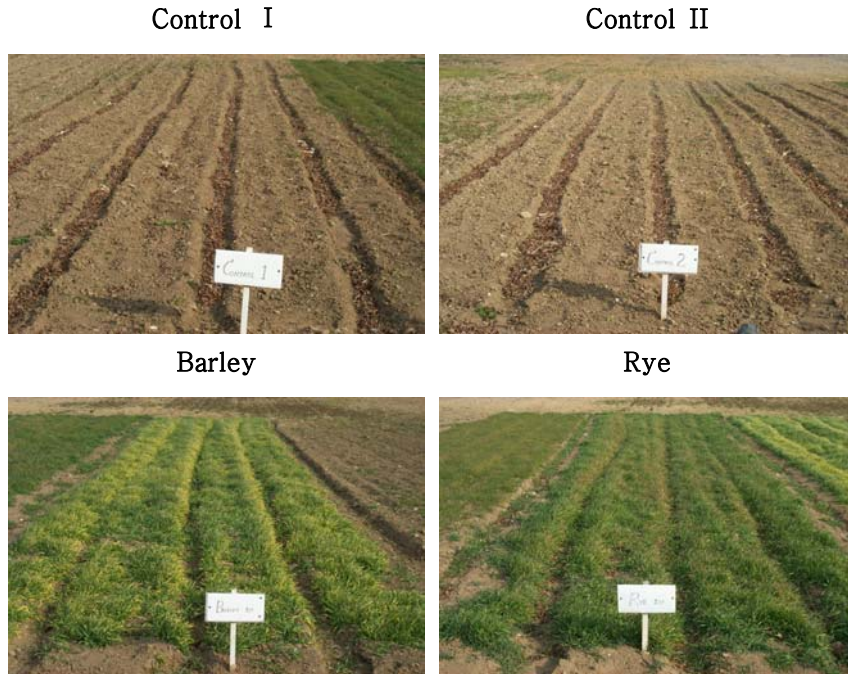


그림 3-9. 겨울녹비작물 파종전후의 포장전경

#### 나. 녹비작물(綠肥作物)의 투입

토양의 유기물 함량을 높이기 위해 여름작물을 파종하기 전에 겨울작물을 2~3cm 절단하여 토양에 혼입 후 경운하였다.

#### 다. 토양의 물리·화학적 특성

토양의 화학적 특성은 앞의 제1절 재료 및 방법 “가”의 “2)”와 같은 방법으로 조사하였고, 추가로 미량원소(Fe, Mn, Zn)는 풍건한 시료 5g을 100ml 삼각플라스크에 넣고 DTPA법으로 침출시킨 후 No.2 여지로 여과하여 ICP(Optima 3300DV, Perkin- Elmer, U.S.A)로 분석하였다.

토양의 물리적 특성인 내수성 입단화율은 Tiulin과 Yordet가 고안한 입단 분석기를 이용하여 수중사별법으로 분석하였다. 즉 2.0, 1.0, 0.5, 0.25, 0.1mm의 각각의 체로 구성된 체꾸러미 상단에 생토 10g을 넣고 10분간 정치하여 팽윤시킨 다음 수중에서 30분간 상하운동 시켰다. 상하운동이 끝나면 체꾸러미를 105℃ 열풍 건조기에서 7~8시간 건조 후 체 눈금별로 평량하여 입단크기별로 백분율(%) 표시하였다.

#### 라. AMF 밀도변화와 감염율

기주식물 재배여부에 따른 AMF밀도의 경시적 변화를 파악하고자 앞의 제1절, 재료 및 방법 “가”의 “3)” 및 “4)” 방법으로 AMF포자밀도 및 감염양상을 실험가의 3), 4)와 같은 방법으로 조사하였다.

#### 마. AMF외생균사(External hyphae)추출 및 길이

실험포장에 서식하고 있는 AMF의 외생균사를 추출하여 길이를 조사하기 위해 앞의 제1절, 재료 및 방법 “가”의 “5)” 방법으로 조사하였다.

#### 바. Glomalin추출

토양입단 안정화 등에 관련되는 Glomalin을 토양으로부터 추출하여 함량을 조사하기 위해 2mm체를 통과한 풍건토양 1g에 50mM sodium citrate를 넣고 멸균(121℃, 60~90분) 후 원심분리(5000xg, 15분)하여 단백질이 담겨있는 상등액을 모아서 4℃ 보관하였다(Wright등, 1996; Wright와 Upadhyaya, 1996, 1998).

Bovine Serum Albumin(BSA)를 이용하여 표준곡선을 그린 다음 Phosphate Buffered Saline(PBS)와 시료량을  $200\mu\text{l}$ 가 되게 하였다. Bio-Rad protein dye  $50\mu\text{l}$ 를 넣고 5분 후 결과를 측정하여 BSA의 표준곡선을 이용해 함량을 계산하였다(Bradford, 1976; Wright 등, 1996). Bradford분석을 통하여 계산된 농도를 고려하여 ELISA(32B11 antibody)를 이용한 정량분석을 통하여 추출하였다(Wright 등, 1987; Wright 등, 1996).

### 3. 결과 및 고찰

가. 예정지관리 토양의 AMF밀도 제고와 물리성개선

#### 1) 녹비작물(綠肥作物) 생산량

표 3-6과 표 3-7은 인삼재배지 예정지관리 토양에 재배한 녹비(綠肥)들의 생산량이며 재배지에 투입된 양이다. 예정지의 녹비재배는 토양물리성 개선과 유기물 공급을 목적으로 관행적으로 재배농가에서 실시하고 있는 관리방법에 포함된다.

재배작물의 지상부와 지하부 전체 건물 생산량은 겨울작물의 귀리와 보리가 각각  $3045\text{kg ha}^{-1}$ ,  $2104\text{kg ha}^{-1}$ 로 대조구( Control I, Control II)에 비해 6배 정도 높았다. 겨울작물 귀리와 여름작물 수단그라스를 재배한 건물의 총량은  $5802\text{kg ha}^{-1}$ , 여름작물 콩을 재배한 건물의 총량은  $4605\text{kg ha}^{-1}$ 로 나타났다. 겨울작물 보리를 재배한 후 후작으로 여름작물 수단그라스를 재배한 건물의 총 생산량은  $4246\text{kg ha}^{-1}$ , 후작으로 콩을 재배한 건물 총량은  $3732\text{kg ha}^{-1}$ 로 나타남으로 귀리/수단그라스 > 보리/수단그라스 > 귀리/콩 > 보리/콩 처리구 순으로 생산량이 많아졌다.

이와 같은 결과는 다음에 조사된 토양의 물리·화학성에서도 설명 되겠지만 토양유기물함량과 토양 입단안정성을 높여줄 수 있을 것으로 예견되며 본 결과에서 단지 유기물 투입량만을 고려한다면 겨울작물은 보리보다 귀리를 재배하는 것이 유리할 수 있으며, 여름작물의 경우는 콩을 재배하는 것 보다 수단그라스를 재배한 처리구가 유기물 투입량이 많았음을 확인할 수 있었다.

#### 2) 토양의 물리·화학적 특성

가) 토양 입단화율

경지토양의 입단화는 작물생육에 필요한 지하환경에 지대한 영향을 미쳐 통기성, 통수성과 밀접한 관계가 있으며 입단생성에 영향을 주는 요인은 물리화학적 특성과 함께 토양생물의 활동에 밀접한 관련이 있다. 일반적으로 토양의 입단화를 표시하려고 할 때 내수성입단을 측정하여 백분율로 환산하는데 입단크기별로 0.1mm이하부터 2mm이상까지 6부분으로 구분하여 표3-8에 표시 하였다. 전체적인 입단화도 경향은 큰 차이가 없으나 입단화율 기준으로 보는 입단직경 1mm전 후의 백분율을 보면 귀리를 재배하였던 곳의 수단그라스 처리구가 45%로 가장 높았고, 전체적으로 수단그라스를 재배한 처리구가 37~45%, 콩을 재배한 처리구는 26~35%의 입단화율을 나타내었다. 그 밖에도 대조구 I 이 40%의 높은 입단화율을 나타내는데 그것은 유기물을 투입하고 경운하는 등의 인위적으로 토양의 입단을 파괴하지 않았기 때문이라고 판단된다.

표3-6. 겨울녹비작물의 생산량

Treatments	Shoot(dry weighth)	Root(dry weighth) (kg ha <sup>-1</sup> )	Total
Control I	423.40	90.94	514.34
Control II	405.05	105.36	510.41
Rye	2311.96	733.27	3045.27
Barley	1583.24	520.53	2103.77

표3-7. 조건별 여름녹비작물의 생산량

Treatments	Shoot dry weighth	Root dry weighth (kg ha <sup>-1</sup> )	Total
Control I Weed	854.5	297.4	1151.9
Control II Sudangrass	1156.9	886.2	2043.2
Control II Soybean	1319.9	74.9	1394.9
Rye Sudangrass	1721.5	1035.1	2756.7
Rye Soybean	1282.2	277.5	1559.5
Barley Sudangrass	1386.1	755.9	2142.0
Barley Soybean	1293.6	334.6	1628.3

표3-8. 여름녹비작물 재배후 토양의 입단화율

Treatments	<0.1   0.1~0.25   0.25~0.5   0.5~1.0   1.0~2.0   2.0<						
	(mm / %)						
Control I	16.98	6.11	7.13	13.58	26.83	29.37	
Control II	Sudangrass	25.11	7.89	10.06	16.77	21.04	19.13
	Soybean	16.29	7.67	8.16	15.66	19.92	32.30
Rye	Sudangrass	14.26	5.31	8.13	16.92	28.19	27.19
	Soybean	17.44	5.98	6.82	11.46	20.76	37.54
Barley	Sudangrass	11.52	5.84	7.18	15.19	22.71	37.56
	Soybean	12.50	4.31	6.94	12.64	14.31	49.30

나) 토양 화학적 특성

녹비작물 처리 후 토양의 화학적 특성의 분석 결과는 전반적으로 큰 변화는 없었으며 작물을 재배함에 따라 대조구와 비교하였을 때 유효인산이 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 녹비작물을 투입한 후 유기물 함량은 3%수준으로 처리구마다 큰 차이를 보이지 않았지만 여름작물을 재배한 후 토양의 유기물 함량은 대조구 II(Control II)를 제외하고 0.1~0.2% 증가 되었다.

3) AMF포자밀도와 균근 감염

녹비작물 재배여부에 따른 AMF 밀도의 경시적 변화를 파악하고자 작물별 AMF 포자밀도 변화를 조사한 결과는 그림 3-10과 그림 3-11과 같다. 겨울작물별 포자밀도 변화를 보면 생육초기에서부터 4월 16일 조사 시까지는 대조구와 작물 재배구 포자밀도의 차이가 거의 보이지 않았으나 1개월 후 조사시 대조구와 보리를 재배한 처리구 간에 포자밀도의 차이를 보였다.

기주식물별 생육후기 건토 g당 AMF 포자밀도는 보리 10개, 귀리 6개로 조사되어 보리가 가장 높은 AMF 포자밀도를 보였다. 여름작물은 콩 재배구와는 다르게 9월 21일 조사시 수단그라스 재배구의 포자밀도가 증가되어 콩 재배구 보다는 수단그라스 재배구가 더 많은 포자밀도를 나타냈으며, 그 중 보리를 재배했던 처리구의 수단그라스 재배구가 건토 g당 64개로 가장 높은 포자 밀도를 나타냈다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 녹비작물로 겨울작물은 보리를 재배하고 이어서 여름작물인 수단그라스



스를 파종, 재배하는 것이 AMF포자밀도의 증가에 바람직한 것으로 나타났다.

한편, 그림 3-12에 나타난 감염율은 전반적으로 40~70%범위를 나타냈고, 겨울작물로 보리를 재배한 후 수단그라스를 재배한 처리가 높은 감염율을 보였다. 그리고 감염율을 나타내는 주요 감염구조는 뿌리의 내부균사(internal hyphae)임이 확인 되었으며 처리별 감염율에는 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었다.

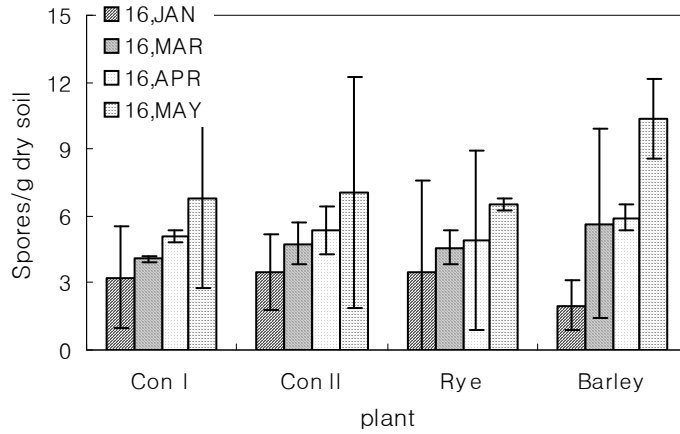


그림 3-10. 겨울녹비작물별 재배시 AMF 포자밀도 변화

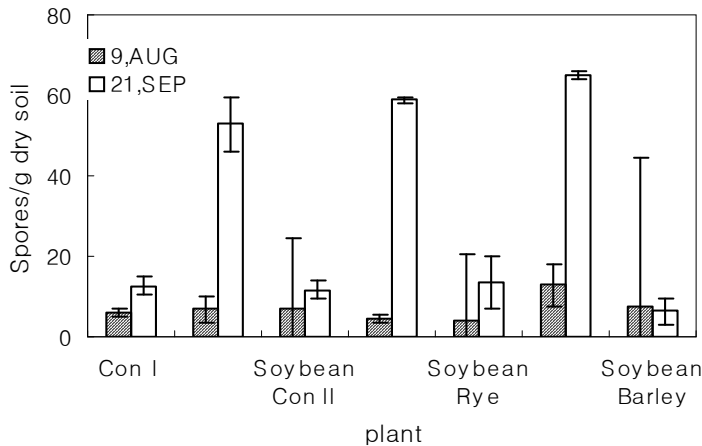


그림 3-11. 여름녹비작물별 재배시 AMF 포자밀도 변화

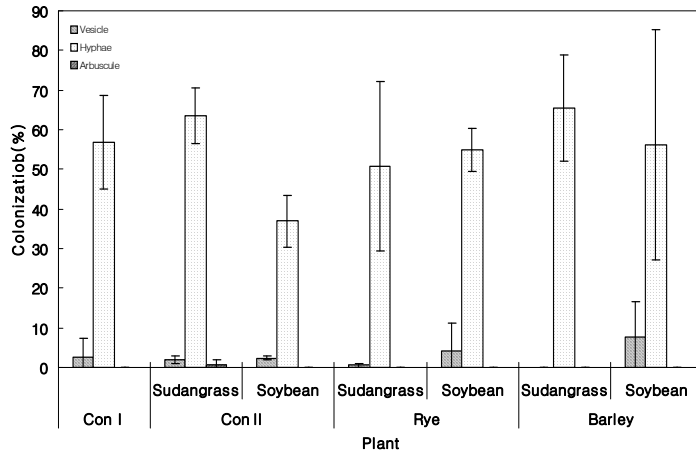


그림 3-12. 여름녹비작물별 재배시 AMF감염율

#### 4) AMF외생균사(External hyphae)길이

표 3-9와 표 3-10은 녹비작물 재배토양에 따른 건조 g당 외부균사 길이를 조사한 결과이다. 겨울작물을 재배한 곳의 외부균사의 길이는 1.5~2.0m g<sup>-1</sup> 범위였으며, 대조구(1.5m g<sup>-1</sup>)보다 귀리(2.09m g<sup>-1</sup>), 보리(2.07m g<sup>-1</sup>)를 재배한 처리구가 높게 나타났다. 여름작물을 재배한 곳 역시 수단그라스 재배구 2.6~2.9m g<sup>-1</sup>, 콩 재배구 1.7~2.2m g<sup>-1</sup> 수준으로 대조구보다 많은 양을 나타냈고, 콩을 재배한 처리구 보다는 수단그라스를 재배한 처리구가 0.9m g<sup>-1</sup>정도 길었다. 특히, 보리를 재배한 후 수단그라스(2.93m g<sup>-1</sup>)와 콩(2.20m g<sup>-1</sup>)을 재배한 처리구가 많은 양을 나타냈다.

표 3-9. 겨울 녹비 작물재배 토양에서의 AMF 균사체의 길이조사

Treatments	Hyphae Length(m dry soil g <sup>-1</sup> )
Control I	1.51
Control II	1.53
Rye	2.09
Barley	2.07

표 3-10. 여름 녹비작물 재배 토양에서의 AMF 균사체의 길이조사

Treatments		Hyphae Length(m dry soil g <sup>-1</sup> )
Control I	-	1.12
Control II	Sudangrass	2.63
	Soybean	1.72
Rye	Sudangrass	2.71
	Soybean	1.85
Barley	Sudangrass	2.93
	Soybean	2.20

5) Glomalin추출

그림 3-13은 토양 중 Glomalin을 ELISA를 이용한 정량 분석 결과로 전반적으로 0.57~1.67mg g<sup>-1</sup> 범위를 나타냈으며, 대조구 I 보다는 작물을 재배함에 따라 높은 함량을 나타내었다. 특히, 겨울작물 보리를 재배한 후 이어 재배한 여름작물인 콩이 1.67mg g<sup>-1</sup>수준으로 높은 함량을 보였다.

Glomalin은 AMF균사에 생성되는 물질로서 토양 탄소를 저장하며 탄소가 대기 중으로 유실되는 것을 방지하고 식물의 흡수 이용이 용이하게 해준다(Wright와

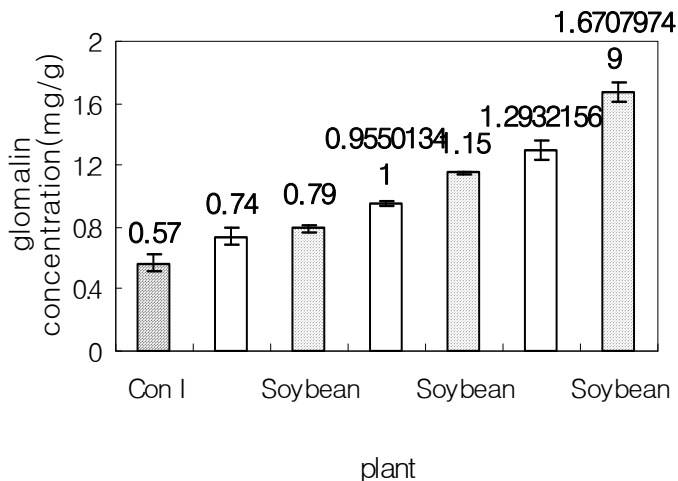


그림 3-13. 여름 녹비작물 재배 토양에서의 Glomalin 정량

Upadhyaya, 1996). 또한, AMF균사에 빠르게 축적되어 토양의 물리성 즉, 입단화 안정에 영향을 미치는 물질로 보고 된바있다(Degens 등, 1996; Jastrow 등, 1998; Tisdall, 1991).

#### 4. 결과요약

인삼재배 예정지 관리단계에서 토양의 AMF 밀도 제고와 물리성을 개선하고자 겨울작물인 보리와 귀리, 여름작물인 수단그라스와 콩을 재배하여 AMF 밀도 변화와 토양특성을 조사하였다.

녹비작물(綠肥作物)의 생산량은 겨울작물 중 귀리를 재배한 처리구가(3045.3 kg ha<sup>-1</sup>), 여름작물 중 귀리 재배 후 수단그라스를 재배한 처리구(2756.8 kg ha<sup>-1</sup>)와 보리를 재배한 후 콩을 재배한 처리구(1628.3 kg ha<sup>-1</sup>)가 많은 건물 생산량을 나타내었다. 겨울작물 혼입 후 유기물 함량의 변화는 대조구 II를 제외하고 0.1~0.2%정도 증가되었다. 입단화율은 보리를 재배한 처리구가 45.7%, 귀리를 재배한 후 수단그라스를 재배한 처리구가 45.1%로 높아졌다.

포자밀도는 겨울작물이 전체적으로 증가하는 경향이었고, 여름작물은 수단그라스를 재배한 처리구가 건토 g당 64개로 콩을 재배한 처리 보다 증가하였다.

AMF 외생균사 길이는 겨울작물이 건토 g당 1.5~2.0 m g<sup>-1</sup> 수준 이었으며, 여름작물은 수단그라스를 재배한 처리구 2.6~2.9 m g<sup>-1</sup>, 콩을 재배한 처리구가 1.7~2.2 m g<sup>-1</sup> 수준으로 대조구보다 높았다.

토양 중 Glomalin은 작물을 재배한 처리구가 대조구 보다 높은 함량을 나타내었다. 그 중에서도 보리를 재배한 후 이어 콩을 재배한 처리구가 1.7 mg g<sup>-1</sup>로 높게 나타났다.

이상의 결과는 인삼 예정지 토양관리는 겨울작물로 보리를 재배한 후 후작으로 수단그라스를 재배하는 것이 AMF 포자밀도 향상과 토양물리성 개선에 효과적인 것으로 확인되었다.

### 제3절 인삼 재배에서 Arbuscular균근균(AMF) 접종 효과에 관한 연구

#### 1. 서 언

우리나라 인삼은 품질 및 가격면에서 절대우위를 점하고 있으며, 전국의 재배 면적은 12,016ha에 이르고, 연간 인삼 생산량은 15,000여 톤으로 세계생산량의 약 33%를 차지하고 있으나 고급 인삼 생산량은 그 수요에 따르지 못하고 있다.

인삼은 근본적으로 식물학적 특성상 재배적지에 대한 선택성이 강하여 기후, 토질 등 자연환경이 적당하지 않는 곳에서 인삼을 생육시키는 것은 아주 어려운 데 이런 점에서 한국은 인삼생육의 최적지이므로 세계적으로 한국 인삼을 높이 평가하는 이유가 여기에 있다.

인삼은 반음지식물로서 재배특성상 생육이 느리며 노동집약적 관리를 해야 할 뿐만 아니라 속효성비료나 화학비료의 시용이 제한적이며 한 곳에서 다년간 생육되기 때문에 인삼의 근권관리와 병충해방제에 상당한 전문성이 요구되고 있다. 현장에서 인삼재배지의 토양관리 중요성은 인식하고 있으나 종합적인 토양관리 기술을 실천한다는 것은 상당히 어려운 부분이다.

실제적으로 인삼 재배대상 토양의 선정과 예정지 관리단계에서 중점적으로 강조하고 있는 부분이 질 좋은 유기질자재의 투입으로 토양물리성 개선과 유기태 양분의 보충과정이다. 이와 같이 토양의 물리적 환경을 개선하는데 있어서 통기성이나 배수성과 같은 기존 입지환경 외에 토양입단의 안정성 개선과 유기질비료를 중요시하는 인삼재배 관리특성상 토양미생물의 역할과 혜택을 간과할 수 없으며, 인삼식재 후 4년째부터 입고병과 잿빛곰팡이병과 같은 병해로 인한 결주 현상은 재배농가의 큰 애로사항으로 대두되고 있으며 해당 병해의 방제를 위한 과도한 농약살포로 수확인삼 중 잔류농약 문제를 야기한 바 있다.

이상과 같은 문제점을 해결하기 위한 대체전략으로 식물의 근권생물 중 기주 식물의 뿌리에 감염되어 기주식물의 수분과 양분흡수의 증진은 물론 토양병원균에 대한 저항성을 갖도록 하는 Arbuscular균근균(AMF)의 혜택을 고려할 수 있다. AMF가 갖고 있는 잠재적 혜택으로는 식물 양분 흡수 증진, 식물 뿌리병원

균에 대한 저항성 증진, 수분장해에 대한 내성증가, 토양안정성 증가(침식/입단안정성), 식물다양성 증가 및 질소고정 효율제고 등으로 알려져 있다(Mukerji 등,2000). AMF 접종원 활용에 관한 전략은 현재까지의 기술에 의한 접종원 생산에는 상당한 비용이 소요되나 인삼과 같이 고부가가치의 작물에는 활용잠재력이 충분하다고 판단되며, 일반적으로 우리나라 경지토양 중 AMF 밀도는 토양 1g 당 3-7개 범위(손 등, 2002)의 포자로 자연상태 토양에 비해서 상대적으로 낮아 1/5수준밖에 되지 않기 때문에 인위적인 접종에 의해 초기밀도를 높여줌으로서 묘삼이식 초기부터 AMF 감염을 유도하는 것이 바람직할 것이다.

특히 근년에 와서는 인삼과 AMF와 관련되어 인삼에 AMF(*Glomus albidium* 및 *Acaulospora longular*)접종을 통해 근부병 발병억제와 근부율을 낮추는 효과를 확인하였고(한 등, 1996), 인삼 육묘와 토양물리적 환경과의 관계를 구명하는 연구(이 등, 1995)에서 경도가 낮고 공극율이 높은 조건이 묘삼의 소질과 이식 후 인삼수량과 품질에 좋은 영향을 미쳤다고 보고하였다. 또한 독일과 캐나다 등에서 미국인삼(American ginseng)에 대한 AMF 감염을 확인하고 감염에 관련된 형태적 특성연구(McGonigle 등,1999), AMF에 감염된 미국인삼의 생장촉진효과와 결주율 감소에 효과가 있음을 보고한 바(Li, 1995) 있으며, AMF는 병원균의 침입에 앞서, 초기에 작물에 AMF 접종으로 병균에 대한 내성이나 저항성을 증가시킬 수 있는 바람직한 방법으로 알려지고 있다(Jaizme-Vega 등, 1997; Pinochet 등, 1998). 또한 여러 가지 종의 AMF를 인삼에 접종하여 토양형과 토양비옥도 수준과 관련시켜 생육촉진 효과를 보고하였고(Zeuske와 Weber, 2000), Weber 등 (1998)은 인삼도 AMF 의존성이 높은 식물 중 하나라고 밝히면서 인삼재배지 토양 중 AMF의 중요성을 강조하였고, 실제 인삼포장에 AMF 밀도를 높게 유지시켜 주는 방안이 다각도로 연구되어야 한다고 강조한바 있다.

따라서 본 연구는 묘삼에 대한 AMF 접종원의 효과적인 접종 방법의 구명과 접종원 접종 이후의 인삼 생육반응, AMF 번식체의 밀도 변화 및 토양 물리성에 관련되는 입단안정성과 통기성을 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. Arbuscular균근균 접종원 부착용 재료 선발

#### 1) AMF 접종원 부착용 재료

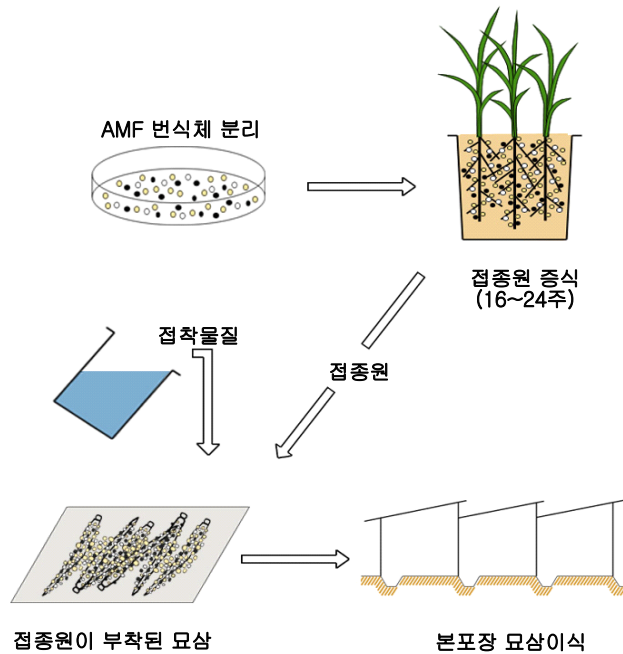


그림 3-14. 인삼 묘상에 AMF 접종과정 도식도

묘상뿌리 표면에 AMF 번식체(접종원)을 도포 부착시키기 위한 접착물질 선발을 위해 아래 표 3-11에서와 같은 시판품의 소맥분, 물엿 및 hydroxyethylcellulose (HEC)를 사용하였고, 해조류 추출분해액은 미역을 알카리 분해 추출하여 접착성(점도), 접종원 부착량, 묘상의 표피조직의 안전성 및 경제성 등을 고려하여 접착물질을 선발하였다.

표3-11. 사용된 AMF 접종원 접착용 재료

Materials	Price	remarks
Flour	1,000W/kg	
Starch syrup	1,300W/kg	
Hydroxyethylcellulose (HEC)	12,000W/kg	
Seaweed extract ( <i>Undaria pinnatifida</i> )	150W/kg	

## 2) 접착제 적정점성 기준설정

접착제 점성의 적정기준을 설정하기 위한 도료 점성을 위해 첨가하는 Hydroxyethylcellulose(HEC)를 이용하여 viscometer (DV-II+, USA)를 사용하여 점도 수준별로 용액을 조제하고, AMF 접종원의 부착량을 조사한 후 미리 증식된 AMF 접종원 중 번식체(포자) 밀도를 감안하여 적정점도를 설정하였다.

## 3) 묘삼 피층에 대한 접착물질의 안전성

묘삼에 AMF 접종원을 부착시켜 현지 포장에서 정식할 경우 접착제 도포 직후부터 묘삼이 포장에 식재될 때까지 소요되는 시간을 근거로 사용될 접착제가 묘삼에 묻어 있는 동안 묘삼 뿌리 피층의 손상여부를 접착제에 3시간이상 침지한 후 묘삼박편의 절편된 피층세포의 형태적 변화를 현미경하에서 조사하였다.

## 4) 접착재료의 토양 중 분해 속도

각각의 접착제를 6ml씩 예정지관리가 끝난 자연토양 20g을 증류수 3ml와 혼합하여 미생물호흡측정기(Challenge AER-200, USA)에서 25℃로 10시간 동안 항온시키면서 소모되는 산소량의 누적치와 경시적인 변화를 조사하였다.

## 나. 인삼에 대한 AMF 접종 효과

### 1) 묘삼의 소질

표 3-12 는 AMF 접종원 접착물 선발실험에 사용한 묘삼의 소질로서 무게, 길이 및



직경이 각각 1.33g, 19.43cm 및 5.54mm를 나타냈고, 묘삼 1개당 표면적은 47.23cm<sup>2</sup>였다.

표 3-12. 접착물 선발실험에 사용한 1년생 묘삼의 소질

	Fresh weight(g)	Length(cm)	Diameter(mm)	Surface area(cm <sup>2</sup> )
Average	1.33	19.43	5.54	47.23

## 2) AMF 접종 후 성장반응 조사

인삼재배지인 곡성 검면 소재지 포장에 묘삼 이식 후 7월(16주), 9월, 12월에 채취하였고, 감염여부 확인을 위해 채취한 뿌리를 수세한 후 Formalin acetic acid 용액(FAA, 10ml formaline + 5ml Acetic acid + 200ml Ethylene)에 고정하여 실험에 이용하였다. 토양은 인삼 근권에서 500g~1kg 정도를 채취하여 4℃의 저온냉장고에 보관하였으며, 일부는 풍건하여 2mm체로 사별한 후 토양 물리·화학적 분석에 사용하였다.

1년생 묘삼이식 단계에서 AMF 접종 효과를 구명하기 위하여 초장, 엽수, 측근수, 주근장, 엽면적 및 지상·지하부의 생체중 등을 조사하였으며, 엽록소 함량은 엽록소 측정기기(SPAD-502, Japan, Minolta)로 측정하였다.

또한 채취한 식물체는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>분해법으로 분해한 후 유도결합 플라즈마 분광광도계(ICP, Optima 3300DV, Perkin U.S.A)로 다량원소(K, Ca, Mg, Na)와 미량원소(Fe, Mn, Zn, Cu)를 분석하였다.

## 3) 토양의 화학적 특성

토양의 화학적 특성은 수소이온농도(pH), 토양유기물함량(O.M), 유효인산(Av-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 총질소(T-N), 치환성염기(K, Ca, Na, Mg), 염기치환용량(CEC)을 토양화학 분석법(농촌진흥청 농업기술연구소, 1989)으로 분석하였다. pH는 초자전극법, 토양유기물함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 총질소는 Kjeldahl 증류법, 치환성염기를 측정하기 위해서 1N-NH<sub>4</sub>OAC용액으로 침출시켜 ICP(Optima 3300DV, Perkin-Elmer, U.S.A)를 이용하여 분석하였다.

## 4) 포자밀도 조사

포자 분리방법은 습식 사별법(Daniels과 Skipper, 1982)을 이용하였으며, 토양 시료를 1차 사별 후 체(500 $\mu$ m, 45 $\mu$ m)로 분획하여 토양의 포자를 분리하여 4℃에 보관하면서 실체 현미경(Zeiss, Stemi 200-C, Germany)하에서 계수 하였다.

#### 5) AMF 감염 및 감염구조 조사

인삼 뿌리에 대한 균근균 감염을 조사는 Phillips와 Hayman(1970)의 방법으로 염색하였으며 그 방법은 다음과 같다. Formalin Acetic Acid(FAA)용액에 저장된 인삼뿌리를 약 1cm길이로 자른 후 10% KOH용액으로 90℃의 온도에서 뿌리의 생태에 따라 20~30분간 처리하여 증류수로 3~4회 헹구어낸 후 0.1% Chlorazol black E염색액(Brundurt 등, 1984)으로 염색한 후 50% glycerol로 탈색하였다. 감염을 및 감염특성은 Mcgonigle 등(1990) 방법으로 염색된 뿌리절편을 AMF의 감염구조인 수지상체(arbuscule), 낭상체(vesicle), 균사(hyphae)를 현미경(Olympus, BX50, Japan)하에서 관찰하여 5mm 내의 감염구조 존재여부를 %로 나타내었다.

#### 6) AMF 외생균사(External hyphae) 길이

Hyphae 추출은 Miller와 Jastrow(1992)의 방법으로 생토 5g에 증류수 250ml과 분산제(Calgon) 31ml 넣고 30분간 방치한 후 1분 동안 교반하여 일정한 높이에서 12ml 취하였다. 그리고 증류수 125ml을 넣어 교반한 후 동일한 높이에서 5~30ml 취하여 0.45 $\mu$ m membrane filter로 여과한 다음 0.05% trypan blue 용액으로 염색한 후 현미경(Olympus, BX50, Japan)하에서 계수하여 계산하였다(Tennant, 1975; Abbott, 1984).

#### 7) 근권 토양 중 Glomalin 함량

토양입단 안정화 등에 관련되는 Glomalin을 토양으로부터 추출하여 함량을 조사하기 위해 2mm체를 통과한 풍건토양 1g에 50mM sodium citrate를 넣고 멸균(121℃, 60~90분) 후 원심분리(5000xg, 15분)하여 단백질이 담겨있는 상등액을 모아서 4℃ 보관하였다(Wright 등, 1996; Wright와 Upadhyaya, 1996; Wright와 Upadhyaya, 1998). Bovine Serum Albumin(BSA)를 이용하여 표준곡선을 그린 다음 Phosphate Buffered Saline(PBS)와 시료량을 200 $\mu$ l가 되게 하였다.

Bio-Rad protein dye 50 $\mu$ l를 넣고 5분 후 결과를 측정하여 BSA의 표준곡선을 이용해 함량을 계산하였다(Bradford, 1976; Wright 등, 1996). Bradford분석을 통하여 계산된 농도를 고려하여 ELISA (32B11 antibody)를 이용한 정량분석을 통하여 추출하였다(Wright 등, 1987; Wright 등, 1996).

#### 8) 근권토양 통기성 및 토양 입단화율 조사

인삼에 대한 AMF 접종여부별로 Air permeability meter(PL300, Germany)와 sampling ring measuring chamber를 이용하여 현지 실험포장에서 통기성을 측정하였다.

토양의 물리적 특성인 내수성 입단화율은 Tiulin과 Yordet가 고안한 입단 분석기를 이용하여 수중사별법으로 분석하였다. 즉 2.0, 1.0, 0.5, 0.25, 0.1mm의 각각의 체로 구성된 체 꾸러미 상단에 생토 10g을 넣고 10분간 정치하여 팽윤시킨 다음 수중에서 30분간 상하운동 시켰다. 상하운동이 끝나면 체 꾸러미를 105 $^{\circ}$ C 열풍건조기에서 7~8시간 건조 후 체 눈금별로 평량하여 입단크기별로 백분율(%) 표시하였다.

#### 9) 인삼 주근의 조직 치밀도 조사

각 군의 인삼 주근을 너두로부터 6cm 지점에서 7cm 지점까지를 피층부위와 중심주부위로 분리하고, 조직 절편기(NK, Plant Microtome MTH-1, Japan)를 이용하여 100 $\mu$ m의 두께로 절편을 제작하였다. 부위별 약 100개씩 제작된 절편 중 임의로 30개를 선택하여 실온의 slide상에서 0.05% toluidine blue염색액으로 염색하고 증류수를 취하여 알코올램프 위를 3-4회 통과시키면서 탈색한 후, 광학현미경(Olympus, BX50F4, Japan)하에서 피층 및 중심주를 관찰하고 1000배율의 대안마이크로미터에서 중심주의 세포수를 계수하여 평균크기를 계산하였다.

#### 10) 인삼 중 조사포닌(Crude saponin)의 분석

식품공전(<http://safefood.kfda.go.kr/RS>)의 인삼성분법에 따라서 조사포닌을 추출하여 분석한다. 즉, 시료 2g을 삼각플라스크에 넣고 물 60ml 에 녹여 옮기고 에테르 60ml 로 씻은 다음 물층을 물포화 부탄올 60ml 로 3회 추출한 후 추출액을 모두 합쳐서 물 50ml로 씻는다. 물포화 부탄올층을 미리 항량으로 한 농축플라스크에 옮겨 감압 농축한 후 105 $^{\circ}$ C에서 20분간 건조하고, 다시 데시케이타에서

30분간 식혀 무게를 달아 다음 식에 따라 조사포닌의 양을 구하였다.

$$\text{인삼성분 (mg/g)} = A - B / S$$

A : 물포화 부탄올층을 농축 건조한 후의 플라스크의 무게(mg)

B : 항량으로 한 빈 플라스크의 무게(mg)

S : 검체의 채취량(g)

다. 균근감염 인삼의 병저항성 관련물질 확인

#### 1) 시료채취

AMF 접종으로 균근감염 인삼의 병저항성 관련물질(chitinase,  $\beta$ -1, 3-glucanase)을 확인하기 위해 묘삼을 유리온실에 치상하고, AMF 접종 시 저항성물질의 경시적 양상을 확인하기 위해 묘삼 이식 후 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 및 13일에 시료를 경시적으로 채취하였다. 채취한 시료는 liquid nitrogen로 냉동하여  $-70^{\circ}\text{C}$ 로 보관하면서 시료 조제 후 분석에 사용하였다.

#### 2) $\beta$ -1, 3-glucanase 활성 조사

0.05M sodium acetate(pH 5.0) buffer와 protein extracts를 혼합하여  $37^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간 반응 후 1%의 NaOH를 첨가하여 5분 동안 boiling 한 뒤 원심분리를 하여 상등액을 1ml 취하여, DNS방법(Miller, 1960)으로 535nm에서 흡광도를 측정하여 환원당을 측정하였다.

#### 3) Chitinase 활성 조사

Liquid nitrogen를 이용하여 시료를 분말형태로 만든 후 50mM NaOAC buffer(pH 5)를 2ml/g 넣고 균질화시켜  $4^{\circ}\text{C}$ 에서 12000g for 20분동안 원심분리하여 상등액만 새 tube로 옮겨 정제된 chitinase를 동일 단백질 농도로 Fix 800 KC-junior을 이용하여 chitinase 활성을 측정하였다. Microplate에 50mM NaOAC buffer(pH 5)에 정제된 chitinase를 넣고, 기질 4-MU-(GlcNAc)<sub>2</sub>를 빠른 시간 내에 함께 넣어 뚜껑을 호일로 덮고,  $37^{\circ}\text{C}$ 에서 반응 시킨 후 585nm에서 흡광도를 측정하였다. 이는 N-acetyl-D-glucosamine(NAG) 방법(J.Bac., 1997)으

로 NAG를 이용하여 standard curve로 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. Arbuscular균균 접종원 부착용 재료 선발

##### 1) AMF 접종원 부착용 재료 및 접착제 적정점성 기준설정

접착재료의 점도 수준별 AMF 접종원 부착량을 표3-13에 나타내었다. 수돗물을 기준으로 하여 7개 수준의 점도별로 묘삼 1개당 접착 재료의 부착량과 AMF 접종원의 부착량을 조사하였다. 그 결과는 수돗물의 경우 묘삼표면에 묻어 있는 물의 양은 0.06g, AMF접종원이 0.6g 밖에 부착되지 않는 반면 점도가 증가함에 따라 접종원의 부착량은 많아지나 급격히 증가하지는 않았다. 수돗물의 점도를 150cps로 조절했을 때 접종원의 부착량은 1.9g이었고, 200cps일 때 접종원의 부착량은 2.3g을 나타냈다. 증식된 AMF접종원의 포자의 AMF 번식체 밀도는 g당 18.5spore의 수준을 보이나, 자연 상태의 토착 AMF 포자밀도 g당 3~4spore 임을 감안할 때 접종원의 부착량은 적어도 묘삼 1개당 2g 정도는 묘삼에 부착되어야 하였다.

따라서 본 실험에서 얻어진 결과를 토대로 접착재료의 점도는 150cps 이상은 유지 되어야 하는 것으로 판단된다. 그림 3-15에서는 접착물질의 점도를 162cps로 조절한 접착액을 이용하여 AMF 접종원을 부착한 전·후의 묘삼모양을 비교한 사진이다.

표 3-13. 점도 수준별 접종원 부착량(DV-I)

Brookfield viscosity(cps)	Adhesion(g)	Inoculum(g)
1	0.06	0.6
30	1.24	1.2
50	1.40	1.4
80	1.48	1.5
100	1.55	1.6
120	1.61	1.7
150	1.73	1.9
200	1.75	2.3

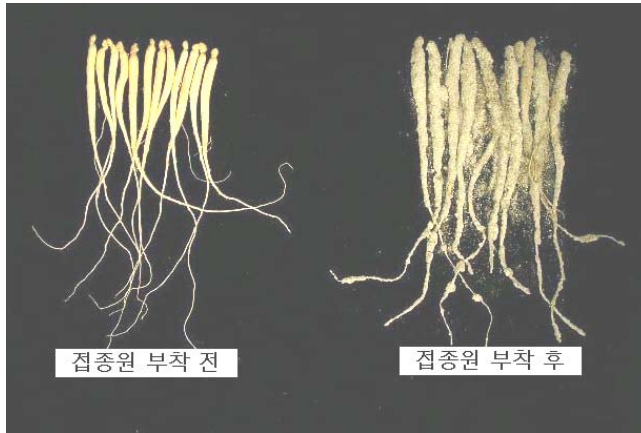


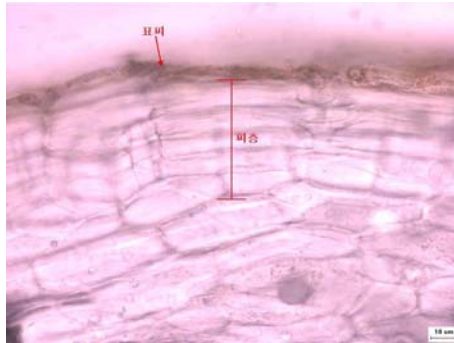
그림 3-15. AMF 접종원 부착 전후의 묘삼모양

## 2) 묘삼 피층에 대한 접착물질의 안전성

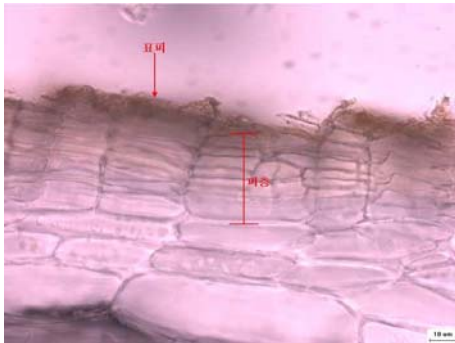
묘삼을 본 포장에 정식하기 직전에 AMF 접종원을 부착해야 하는데 현지포장에서 접종원 부착 후 묘삼이 심어질 때까지 약 1~2 시간이 소요되고 있다. 경과 시간이 너무 길게 되면 묘삼의 수분을 빼앗겨 식재 후 활착불량을 초래하기 때문에 이상의 이유로 묘삼을 표3-14와 같은 점도의 접착액에 침지한 후 현미경하에서 묘삼의 절편을 관찰하여 박편 피층부 세포의 이상유무를 수돗물 침지구인 대조처리와 비교하였다. 묘삼침지에 사용한 접착액의 점도는 수돗물을 제외하고 접착재료별로 152~161cps 범위 수준으로 3시간 동안 침지하여 묘삼박편을 400배 배율로 결과 그림 3-13과 같은 사진을 얻었다. 그림에서 확인되는 바와 같이 피층세포가 완전하게 유지되었으며, 물엿 등이 포함 된 접착액 재료의 종류에 따른 문제점은 발견되지 않았다.

표 3-14. 묘삼 침지에 사용한 접착물질의 점도

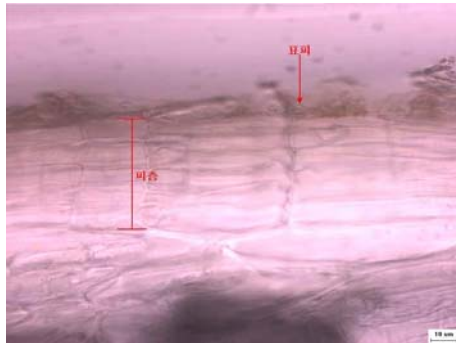
Materials	Brookfield viscosity (cps, 20rpm)	remarks
Tap water	1	
Seaweed extract ( <i>Undaria pinnatifida</i> )	161	
Hydroxy- Ethylcellulose(HEC)	160	
Starch syrup	152	
Flour	156	



Tap water



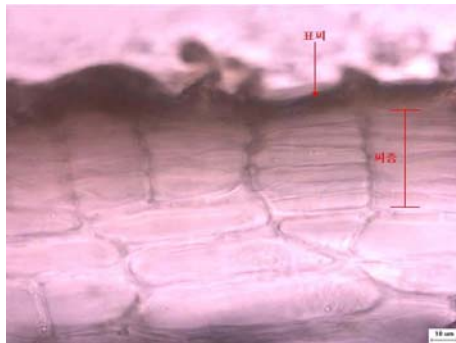
Stzrch syrup



Flour



Seaweed extract



hydroxyethylcellulose(HEC)

그림. 3-16. 접착물질에 3시간 침지 후 묘삼 피층세포의 구조

### 3) 접착재료의 토양 중 분해속도

묘삼에 부착되어 토양에 혼입 된 접착물질들의 분해속도를 파악하기 위해 누적 과 경시적 산소소모량을 측정하여 그림 3-17에 도시하였다. 먼저 산소 소모량의 누적치의 차이를 보면 대조구인 수돗물 처리는 23mg 수준인 반면 소맥분 풀은 32mg, 물엿과 해조류 추출액은 43mg 수준을 보였고 도료 등의 점성첨가제로 사용되는 hydroxyethylcellulose(HEC)액의 경우는 45mg의 산소 소모량을 나타내 물엿, 해조류추출물 및 HEC가 가장 많은 산소소모량을 보인 접착물질로 나타났다.

한편 경시적 산소소모량을 보면 25℃로 항온을 시작한 후 1시간 경에 가장 높은 소모량을 보여서 수돗물 첨가구는 9mg의 산소흡수를 나타냈고 그 외의 접착재료는 11mg(물엿), 12mg(해조류 추출액 및 소맥분 풀) 및 13mg(HEC) 순으로 산소 소모량을 나타냈고, 그 이후는 산소소모량이 급격히 감소하였다. 그리고 치상 후 2시간 이후부터는 완만하게 산소 소모가 줄어드는 경향을 보여 7시간이 경과된 다음부터는 산소 소모가 없었다.

여기서 해조류추출액은 토양 물리성 증진, 토양미생물성 향상 및 식물영양분 공급 등을 위한 농용자재로 권장하여 사용되고 있음을 감안 할 때 문제점이 없을 것으로 판단된다. 그러나 활용의 수월성과 경제성(1,800원/L)을 고려한다면 물엿을 접착재료로 사용하는 것이 좋겠으나 만일에 토양 혼입 후 토양수분이 부족할 경우에 삼투현상으로 묘삼근부 피층부 세포들의 활력을 떨어뜨릴 수 있는 여지가 있을 수 있다. 한편 HEC는 점도를 수월하게 조절할 수 있는 장점은 있으나 kg 당 12,000원 정도의 가격으로 유통되고 있기 때문에 다소의 부담이 가는 재료로 생각된다. 해조류 추출분해액의 경우는 연구자의 실험실에서 제조하여 사용하였기 때문에 경제성(150원/kg, 미역원초)과 효능면에서 가장 유리하다고 판단된다. 해조류 추출분해액은 대부분의 양분들이 유기태로 존재하며 더욱이 10여종의 무기원소가 함유되어 있으며, 해조류추출액은 특히 AMF 포자와 균사의 발아에 좋은 영향을 미치기 때문에(Kuwada 등, 1999) 묘삼표면에 도포되어 접종된 AMF 번식체의 활성을 높여 줌으로서 묘삼에 대하여 AMF의 조기감염을 유도할 수 있을 것으로 예상된다.



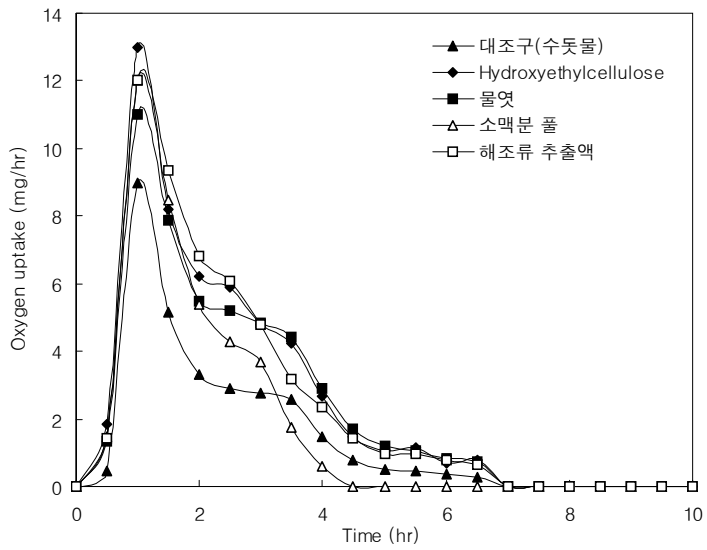
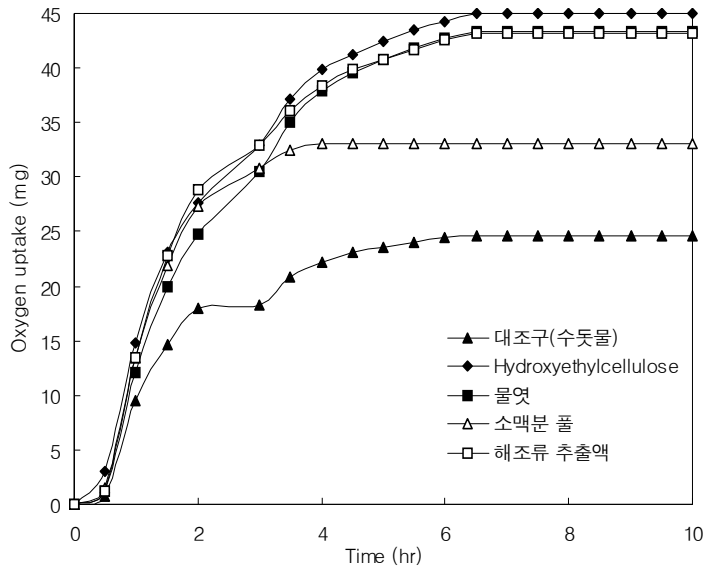


그림 3-17. 접착물질별 누적 산소 소모량(좌)과 경시적 산소소모량(우)

나. 인삼의 AMF 접종효과 구명

1) AMF 접종 후 성장반응 조사

묘삼에 Arbuscular균근균(AMF) 접종효과를 확인하기 위해 AMF 포자를 2.8g에 46±3개 포함하게 하는 접착제(해조류 + Hydroxylcellulose, 150cps)를 이용하여 전남 곡성 검면 소재지 인삼재배지의 본 포장 이식시 묘삼에 처리하여 생육반응을 조사한 결과를 표3-15에 나타내었고, 그림3-15 와 그림3-16에서 보는 바와 같이 AMF 접종여부에 따라서 생육의 차이를 가시적으로 확인할 수 있었다.

표3-15에서 보는 바와 같이 16주 후 성장반응 조사 결과 AMF를 접종한 처리구가 대조구에 비해 초장, 측근수, 엽면적, 생체중, 엽록소 함량 등이 높게 나타났다. 특히 지하부 생체중이 대조구 2.08g에 비해 AMF 처리구에서 2.84g로 약 36% 높은 수치를 보였으며, 엽면적 또한 대조구 105.7cm<sup>2</sup>에 비해 약 46% 증가를 보이는 154.5cm<sup>2</sup>를 나타냈으며, 엽록소 함량은 3.2mg/100cm<sup>2</sup> 으로 유의적인 증가를 보였다.

또한 묘삼이식 후 2년째 되는 3년근의 생육반응에서도 AMF처리가 양호한 성장을 보였다. 표3-16에서 보면 초장, 뿌리길이, 근직경 및 엽록소함량 등이 고도의 유의성 있는 증가를 나타내고 있으며 인삼의 지하부 생체중이 대조구는 25.3g인데 반해 처리구는 33.0g로 30.4%의 수량증가를 보였는데, 서양삼에 대한 AMF접종처리시 41-43%의 생체중 증가를 가져왔다는 실험결과(Li, 1995)에는 미치지 못하나 판매가격으로 비교하였을 경우는 상당한 소득차이로 판단된다..

표3-15. 묘삼이식시 AMF접종원 접종결과 16주 후의 성장반응

Treatment	Plant length (cm)	Root length (cm)	No. of lateral roots	leaf area (cm <sup>2</sup> )	Fresh wt(g)		Chlorophyll content (mg/100cm <sup>2</sup> )
					Top	Root	
AMF-	15.0	8.7	17.1	105.7	1.72	2.08	2.9
AMF+	16.9*	10.2 <sup>ns</sup>	24.0*	154.5**	2.66**	2.84**	3.2*

ns : non-significant, \* and \*\* : significant at 5% and 1% levels by t-test



그림 3-18. 묘삼이식시 AMF접종원 처리 후 16주의 인삼 생육의 비교사진

표 3-16. AMF 접종원 접종 2년 후(3년근)의 성장반응

Treatment	Plant length (cm)	Root length (cm)	Root diameter (mm)	No. of lateral roots	leaf area (cm <sup>2</sup> )	Fresh wt(g)		Chlorophyll content (mg/100cm <sup>2</sup> )
						Top	Root	
AMF-	29.6	25.6	19.96	22.4	704.39	6.34	25.33	2.0
AMF+	32.9**	27.2 <sup>ns</sup>	26.61*	23.1 <sup>ns</sup>	1043.54	9.24**	32.97**	2.7**

ns : non-significant, \* and \*\* : significant at 5% and 1% levels by t-test

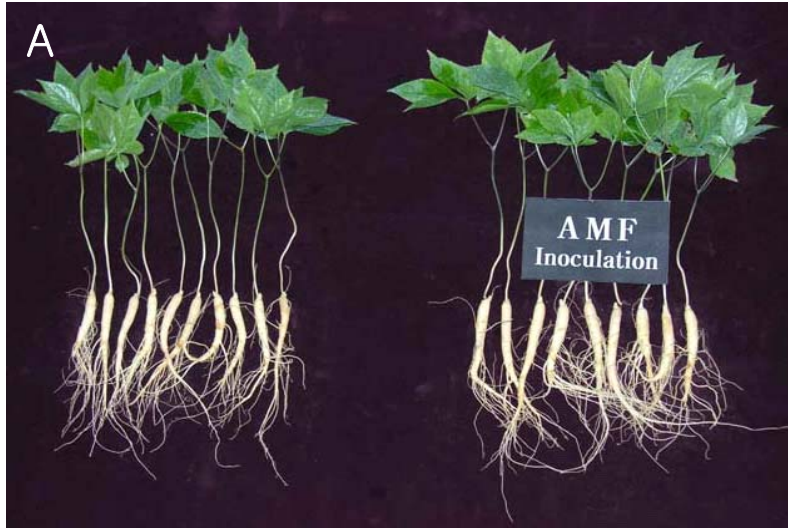


그림 3-19. 묘삼이식시 AMF접종원 처리 후 16주(A) 와 2년근(B) 인삼 생육의 비교사진

2) 묘삼의 정식 후 지상·지하부 무기성분 함량

이식재배에 있어 인삼의 지상, 지하 생육과정은 김(2000) 등이 보고한 바와 같이 묘삼 또는 전년 저장근에서 양분이 이동하면서 지상부 생장이 시작되고 줄기 및 엽 생장은 5월 말 내지 6월 초에 완료된다는 보고가 있었다.

표 3-17에 묘삼이식 후 16주인 7월 16일 채취한 인삼의 지상부와 지하부 무기성분을 분석한 결과를 표시하였다. 인삼의 식물체 분석결과에서 인삼 지상부의 무기성분 중 K와 Ca의 함량은 AMF 접종처리에서 고도의 유의성 있는 함량증가를 보였고, P와 Mg의 함량은 유의성이 없었으나, Cu, Mn, Fe 및 Zn의 함량이 AMF 접종처리에서 유의성 있는 흡수증가를 나타냈다.

한편, 인삼 지하부 중 무기성분 함량에서는 Mg를 제외한 P, K, 및 Ca에서 고도의 유의성 있는 흡수증가를 보였으며, 미량원소는 Fe와 Zn의 흡수증가를 나타내고 있다.

이상의 무기성분 함량 분석 결과에서 특히 K 성분의 흡수증가는 인삼의 양분과 수분제어에 관련되는 영양생리적 측면에서 중요한 역할을 담당하기 때문에 (정, 2000), 인삼 생산성 향상에 큰 혜택을 끼칠 것으로 판단된다.

표 3-17. 묘삼 이식 16주 후의 인삼 지상부/지하부 중 무기성분의 분석결과

	AMF inoculation	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O CaO MgO (%)				Cu Mn Fe Zn (mg/kg)			
		Shoot	-	0.17	1.84	1.76	0.37	0.03	0.60
	+	0.19 <sup>ns</sup>	2.16 <sup>**</sup>	2.43 <sup>**</sup>	0.45 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>**</sup>	0.73 <sup>**</sup>	13.96 <sup>**</sup>	0.66 <sup>**</sup>
Root	-	0.29	1.62	0.23	0.31	0.06	0.10	2.63	0.14
	+	0.38 <sup>**</sup>	1.97 <sup>**</sup>	0.31 <sup>**</sup>	0.30	0.13 <sup>**</sup>	0.10	3.97 <sup>**</sup>	0.30 <sup>**</sup>

ns : non-significant, \* and \*\* : significant at 5% and 1% levels by t-test

3) 인삼 재배지 토양의 화학적 특성

토양의 화학성을 조사한 결과는 전반적으로 EC값, 유효인산 함량 및 치환성 칼리함량이 권장기준치 보다 높게 조사되었다. 인삼 재배지의 pH 권장기준과 비교하였을 경우 값이 5.9로서 권장기준 5.0~6.0에 적합하였고, 토양유기물 함량의 경우 무처리구에서 1.29와 처리구 1.61g kg<sup>-1</sup>로 권장기준 2.0~3.5보다 낮았다. 유효인산은 인삼재배지의 권장기준 값인 70~200mg kg<sup>-1</sup> 보다 무처리구(221.5mg kg<sup>-1</sup>)와 AMF 처리구(279.7mg kg<sup>-1</sup>)이 높은 함량을 보여 적절한 시비 조절이 필요하다. 치환성 양이온(Ex-Cations)은 칼륨(K)값이 높은 편으로 나타났으며, 그 외 치환성염기의 함량은 적정치 수준으로 문제가 없는 것으로 해석되었다.

이상의 토양분석결과를 고려할 때 과부족 성분들의 문제점을 개선하기 위해서는 균형시비가 필요하며, 특히 인산과 같은 성분은 토양에서 쉽게 이동이 되지 않기 때문에 인삼재배 예정지 관리 시 심경과 객토와 같은 방법을 활용하여 토양을 충분히 교란함으로써 경토 중 과량 함유된 성분의 희석효과를 고려해야 할 것으로 생각된다.

#### 4) 포자밀도 조사

포자 밀도의 변화를 표 3-18에서 보면 묘삼 이식 시는 토양 30g 당 75개 수준을 보였고, 16주 후 조사 시에는 접종원을 처리하지 않은 대조구는 186개 수준을 보였으나 AMF 접종원 처리구는 256개 수준을 나타내 대조구에 비해 37.6%가 더 높게 계수되었다. 그러나 조미채소 재배지의 토양 화학성에 따른 균근균 분포 특성에 관한 연구발표(손 등, 2003)에 따르면 작물 경작지별 분리된 포자밀도에서 토양 1g당 포자수는 양파 12.1, 마늘 11.7, 고추 10.1개의 순의 포자 밀도를 보였으나 본 인삼재배 조사지역의 포자 밀도는 토양 1g당 2.5개 수준을 보여 조미채소 재배지 토양보다 낮은 포자밀도 분포를 나타냈다.

또한 2차 3차 AMF 포자밀도를 조사하여 경시적인 밀도 변화를 도식화하여 그림 3-20에 나타냈는데 9월 5일 조사 시에 AMF 접종원 처리구에서 가장 높은 밀도(277개/30g 토양)를 보였고 12월 10일 조사 시는 토양 30g 당 169개 수준으로 감소하였다. 이와 같이 동절기에 포자가 감소되는 것은 가을동안 후막포자가 토양미생물에 의하여 분해 사멸되기 때문인 것으로 알려져 있다.

습식사별 분리한 포자의 사진을 그림 3-21에 표시하였다. 사진 A는 AMF를 처리하지 않은 대조구 인삼 재배 토양에서 분리한 포자모습이며, B는 AMF를 처

리한 곳의 인삼 재배 토양으로부터 분리된 포자 모습으로 황갈색의 포자를 띠고 있음을 확인할 수 있다. 또한 대조구에서 검은 색을 띠는 포자가 많은 것을 볼 수 있는데, 이러한 포자는 활성이 없고 발아력을 상실한 사멸포자로 추정된다.

표 3-18. AMF접종원 접종 후 16주 후의 토양 중 포자밀도

Treatment	No. of spores (30g/fresh soil)	
	Transplanting time	16 weeks after transplanting
AMF-	75±8	186±5
AMF+	75±8	256±7

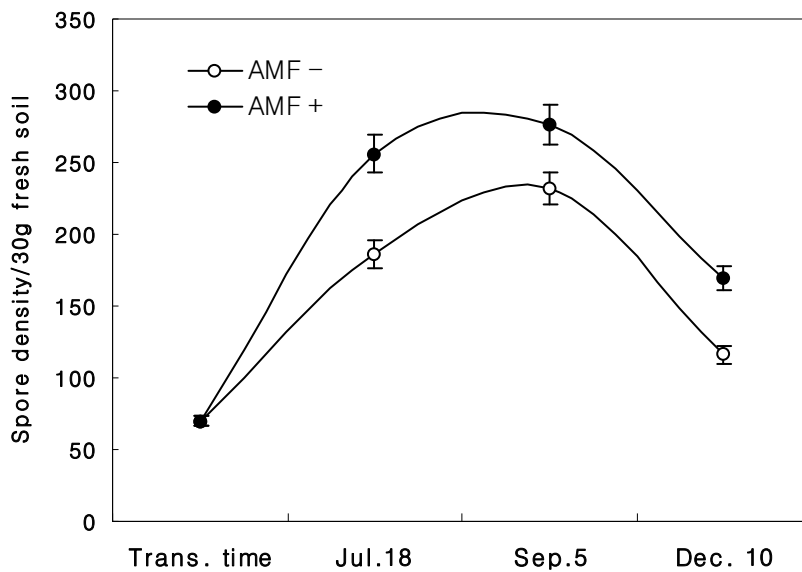


그림 3-20. 인삼근권 토양 중의 AMF 포자밀도의 경시적 변화

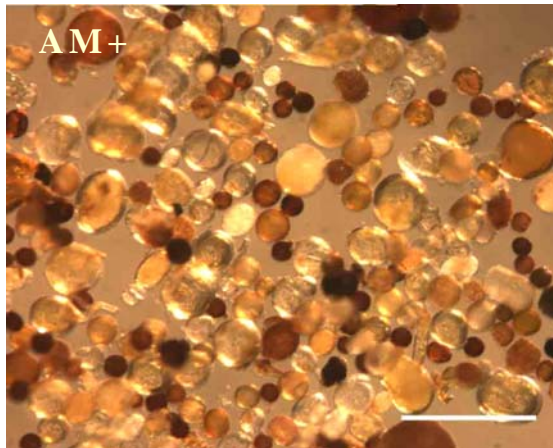
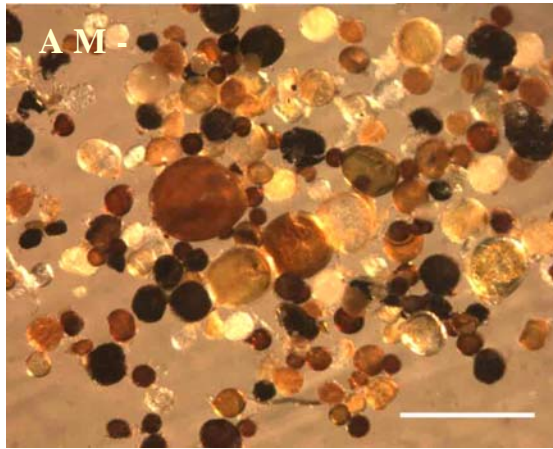


그림 3-21. 접종 16주후 인삼재배지에서 분리한 포자의 사진(scale bar = 500 $\mu$ m).

#### 5) AMF 감염 및 감염구조 조사

인삼 뿌리를 염색한 후 현미경하에서 감염양상을 관찰한 결과는 그림 3-22와 같다. Arbuscule과 vesicle 사이에 hyphal coil을 이루며 발달하고 세포 안에서 균사선륜 모양으로 감염되어 주변세포로 느리게 진행되는 *Paris-type*의 감염구조가 흔히 관찰되었다. 그림 3-22A에서는 hyphal coil을 발견할 수 있었다. 이는 Smith 와 Read(1997)의 보고에 의하면 미국인삼은 *Paris-type*으로 Arbuscules과



Vesicles의 마디 사이에 hyphal coil을 이루며 발달하고 세포 안에서 감염되어 있음을 확인하였던(Whitbread 등, 1996) 것과 같은 양상이라 생각된다. 또한 그림 3-22D에서 보는 바와 같이 기주식물이 인삼과 AMF 사이에 무기영양분과 광합성 산물의 교환 장소(Smith 와 Read, 1997)로 알려진 arbuscule이 형성되어있음을 보여준다. 간혹 광합성이 활발한 화본과 식물에서 많이 관찰되며 세포벽과 세포벽 사이에 빠른 속도로 분지해 나가는 *Arum*-type을 볼 수 있었다.

그림 3-22에서 본 바와 같이 낭상체(vesicle), 균사(hyphae) 및 수지상체(arbuscule)의 각각의 감염빈도를 계산하여 전체 중 감염율을 계산한 결과 표 3-19에서와 같이 대조구 61.4%에 비해 약 20%가 높은 80.3%의 감염율을 나타내었다. 감염율을 결정하는 감염체의 조사결과에서 보면 낭상체(vesicle)와 균사(hyphae)의 관찰빈도가 높았음을 알 수 있었다.

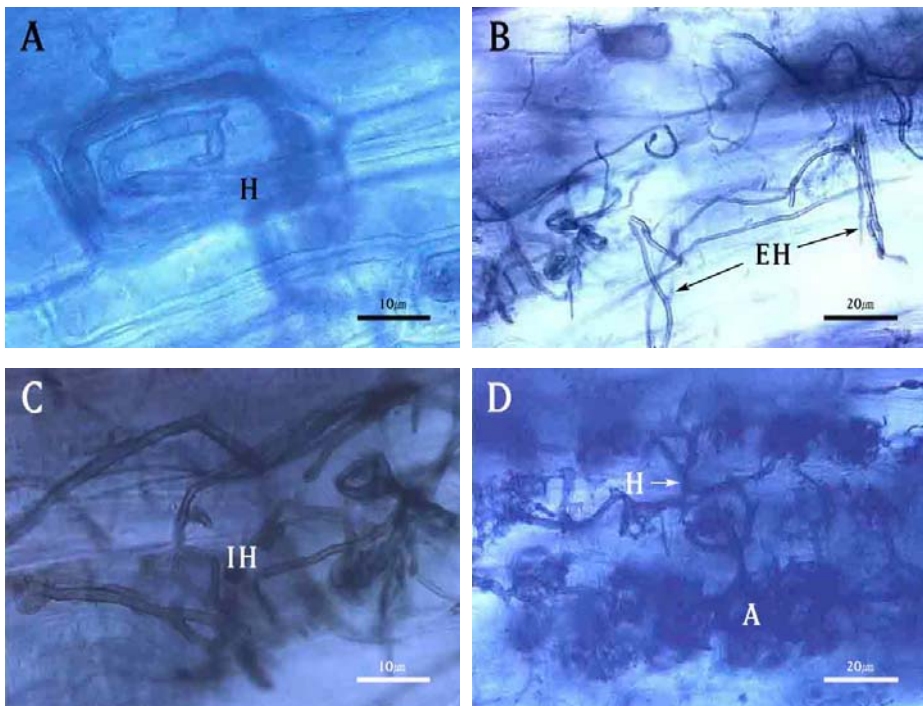


그림 3-22. 인삼 세근 중 AMF 감염양상.

(H:hyphae, EH:external hyphae, IH:internal hyphae, A:arbuscule)

표3-19. AMF접종원 접종 후 16주 후의 AMF감염율

Treatment	AMF infection(%)			
	vesicle	hyphae	arbuscule	total
AMF-	0.1	61.3	-	61.4
AMF+	-	80.3	-	80.3

6) AMF 외생균사(External hyphae) 길이

인삼의 근권 토양 중 외부균사의 길이를 조사한 결과는 표 3-20에 표시하였다. 외생균사는 기주식물 뿌리에 감염되어 식물체 뿌리의 연장역할을 하여 양분과 수분의 흡수를 도와 기주식물의 생육을 증가시키고 토양입단의 안정화를 높여주며 또한, 침식으로 인한 토양 입단파괴를 감소시킨다고 알려져 있다 (Miller&Jastrow, 1992; mTisdall, 1994; Wright & Upadhaya, 1996).

실험 장소의 AMF 처리구에서 외부균사가 더 길게 분지되어 있음을 알 수 있었고, 7월과 9월 조사 시에는 1.5~1.8m/g 토양 수준을 보였고, 12월 조사 시는 7m 수준으로 길이 감소를 보여, 겨울에 포자 밀도의 수가 감소하는 경향과 일치하는 결과를 보였다. 밭 토양의 외부균사 길이가 50m g<sup>-1</sup>로 조사보고 된 바 있는데(Simth &Read, 1997; Tisdall, 1994), 이와 비교하였을 때 인삼 재배 토양은 0.65~1.8m g<sup>-1</sup>로 낮은 수준으로 나타났다.

표 3-20. 인삼 근권토양 중 AMF외부균사(external hyphae) 길이 조사결과

Treatments	Jul. 18		Sep. 5		Dec. 10	
	AMF+	AMF-	AMF+	AMF-	AMF+	AMF-
Hyphae length (m dry soil g <sup>-1</sup> )	1.53	1.42	1.80	0.72	0.77	0.65

### 7) 근권 토양 중 Glomalin 함량

AMF의 포자와 균사에서 유래하는 물질로 접착성과 분해에 내성을 갖는 특성을 보여 토양입단 안정화에 영향을 미친다고 알려진 Glomalin을 ELISA를 이용하여 정량 분석 한 결과는 그림 3-23과 같다. AMF 접종 처리구에서 0.96mg/g 보다 높은 함량을 나타내 토양입단 안정성 향상에 기여한 것으로 판단되었다.

Glomalin은 토양 탄소를 저장하며 탄소가 대기 중으로 유실되는 것을 방지하고 식물의 흡수 이용을 용이하게 해주며(Wright & Upakhyaya, 1996), 또한 AMF 균사에 빠르게 축적되어 토양의 물리성 즉, 입단화 안정에 영향을 미치는 물질로 보고 된 바 있다(Degens 등, 1996; Jastrow 등, 1998; Tisdall, 1991).

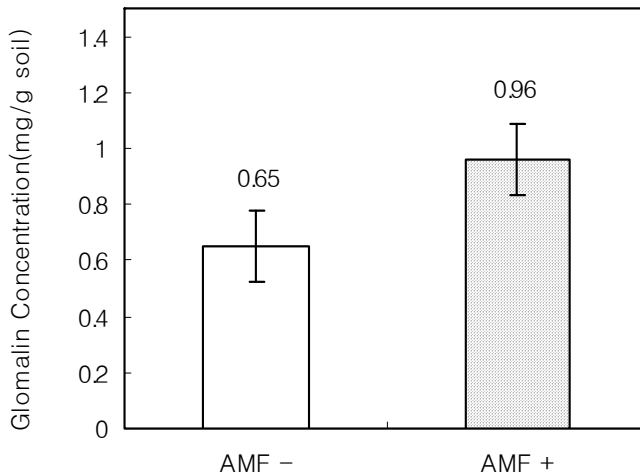


그림 3-23. AMF접종여부와 관련된 16주후 토양 중 Glomalin함량 비교

### 8) 근권토양 통기성 및 토양 입단화율 조사

인삼에 대한 AMF 접종여부별로 Air permeability meter(PL300, Germany)와 sampling ring measuring chamber를 이용하여 현지 실험포장에서 통기성을 측정 한 결과는 그림 3-24에 표시하였다. 그림에서 보면 대조구에서  $2.02 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ,

AMF 접종구 처리구에서  $2.66 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 로 측정되어 AMF 처리구가 더 높은 수치를 나타내었다.

Bruggenwert 등(1996)에 의해 PL 값을 고유의 통기량과 비교하여 분류 제안한 값을 보면  $1.6 \times 10^{-3} \text{cm/s}$  이하이면 통기성이 매우 느리고,  $1.6 \sim 8 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 의 범위이면 느린 수준이며, PL 값이 8~32 범위이면 중간정도로 느린 통기성으로 보고 있으며 적당한 통기수준은 32~92 ( $10^{-3} \text{cm/s}$ ) 범위로 보고 있다. 이를 감안하면 조사토양의 통기성은 느린 수준으로 판단되며 통기성은 투수계수, 용적밀도, 입자크기 및 공극률 등의 토양물리적 특성과 관련되기 때문에 AMF 접종으로 단기간에 통기성 향상을 기대하기는 어려울 것으로 판단되었다.

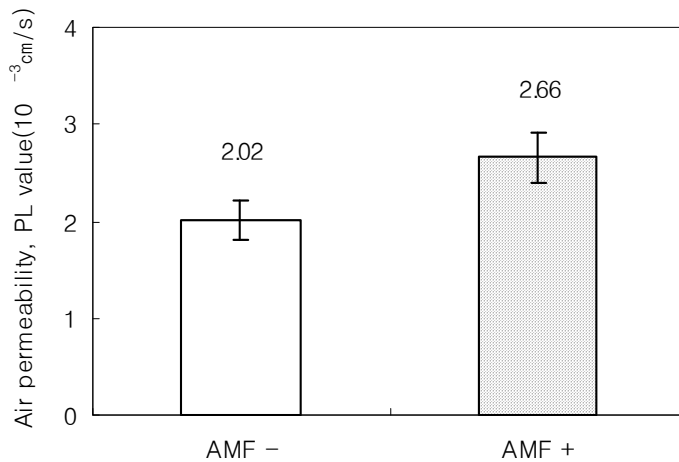


그림 3-24. AMF접종여부와 관련된 토양통기성의 비교

AMF 접종이 토양의 입단안정성 증진에 영향여부를 확인하기 위해 내수성 입단화 정도를 조사하여 표3-20에 표시하였다. 토양 입단화율을 보면 입단의 크기 0.25~2.0mm의 범위를 제외하고는 일정한 경향을 찾을 수 없었으나 일반적으로 입단안정성의 지표로 보는 입단직경 1.0mm 전후의 입단화율에서는 AMF 처리구가 대조구에 비해 더 높은 입단화율을 보였다. 7월 조사시 0.5~1.0mm 사이에서

보면 대조구 11.74%에 비해 AMF처리구는 15.35%였고, 9월 조사시 대조구 12.10%, AMF 처리구가 17.80%를 보였으며, 12월 조사시 대조구 10.30%, AMF 처리구가 14.65%로 시간이 경과하여도 AMF 처리구에서 높은 입단화율을 나타냈다. 경지토양의 입단화는 작물생육에 필요한 지하 환경에 지대한 영향을 미쳐 통기성, 통수성과 밀접한 관계가 있으며 입단생성에 영향을 주는 요인은 물리화학적 특성과 함께 토양생물의 활동에 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

표 3-21. 인삼 근권토양의 내수성 입단화율 조사결과

Investigation date		<0.1	0.1~0.25	0.25~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	<2.0
		(mm / %)					
Jul.18	AMF -	36.44	17.21	<b>15.29</b>	<b>11.74</b>	<b>9.48</b>	9.84
	AMF +	32.85	16.53	<b>15.87</b>	<b>15.35</b>	<b>13.18</b>	6.22
Sep.5	AMF -	37.60	16.50	<b>14.40</b>	<b>12.10</b>	<b>10.20</b>	9.20
	AMF +	31.10	14.50	<b>16.90</b>	<b>17.80</b>	<b>14.20</b>	5.55
Dec.10	AMF -	36.53	23.51	<b>13.86</b>	<b>10.73</b>	<b>8.66</b>	6.71
	AMF +	40.24	12.17	<b>15.45</b>	<b>14.65</b>	<b>11.26</b>	6.23

#### 9) 인삼 주근의 조직 치밀도 조사

제작한 인삼 주근의 피층 절편을 염색한 후 현미경하에서 관찰한 결과는 그림 3-25 과 같다. AMF 감염여부에 따른 세포상 조직상의 차이는 확인할 수가 없었고, 낭상체(vesicle), 균사(hyphae) 및 수지상체(arbuscular)의 감염 또한 발견되지 않았다. 이는 지근이나 세근에 비하여 상대적으로 적은 근모가 착생되고 조직이 치밀하게 형성된 주근의 특성으로 인한 것으로 추측된다.

중심주 절편을 염색한 후 현미경하에서 관찰한 결과는 그림 3-26 와 같다. 400 배율의 현미경하에서 중심주는 물관부와 체관부가 교대하여 방사상으로 배열된 방사중심주 형태를 띠고 있는 것을 확인할 수 있었다. AMF에 감염된 인삼근의 경우에는 대조구보다 상대적으로 세포의 면적에서 유의성 있는 증가를 보였다. 대안마이크로미터를 통해 세포수를 계수하여 계산한 세포 1개 당 평균크기를 그림 3-27에 나타내었다. 하지만 절편제작 시 뿌리의 조직을 생성하는 뿌리 끝 부

분의 정단분열조직과 절편사이의 거리를 동일하게 하지는 않았다.

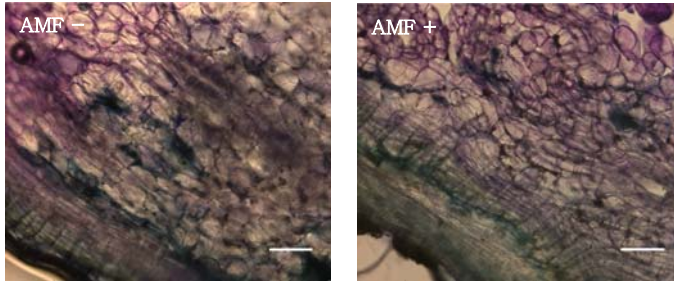


그림 3-25. AMF 감염 여부에 따른 피층 조직 형태(Scale bar = 50 $\mu$ m)

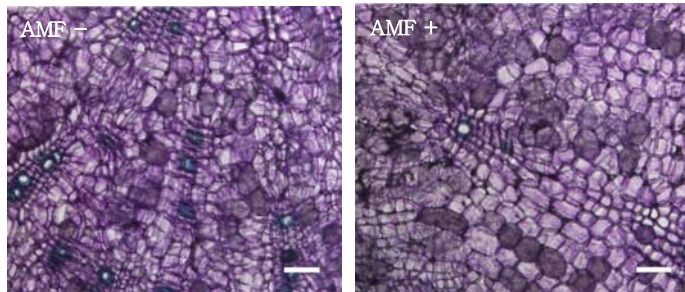


그림 3-26. AMF 감염 여부에 따른 중심주 조직 형태(Scale bar = 50 $\mu$ m)

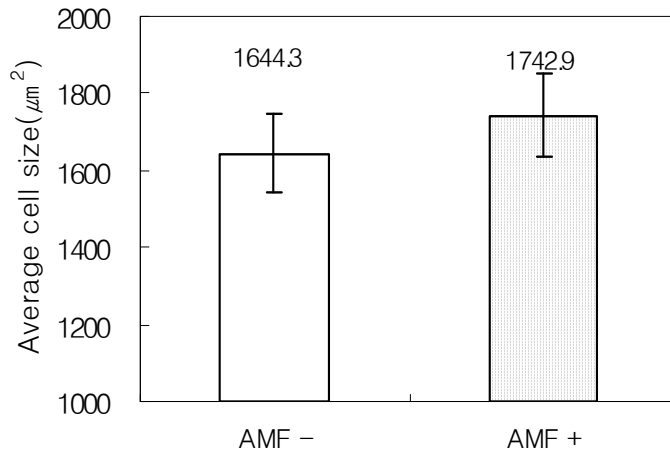


그림 3-27. AMF 감염 여부에 따른 중심주 세포 크기

#### 다. 인삼 중 조사포닌 분석결과

3년근 인삼시료 중 조사포닌의 분석결과는 표 3-22와 같다. 건조된 인삼시료 중 조사포닌 함량의 차이는 큰 차이를 보이지 않아 AMF접종원 처리에서 시료 g당 0.4mg정도가 많이 함유되어 있었다.

표 3-22. 인삼 중 조사포닌의 분석결과

Treatments	Crude saponin 함량 (mg/g)
AMF-	49.200
AMF+	49.400

#### 라. 균근감염 인삼의 병저항성 관련물질 확인

##### 1) $\beta$ -1, 3-glucanase 활성 조사

식물은 동물과 달리 환경이나 외부 자극에 대해 적극적으로 움직여서 반응할 수가 없기 때문에 나름대로 외부 환경에 대해 반응하는 기작을 가지고 있다. 특히 외부로부터의 생물적, 비 생물적인 요인에 의한 다양한 스트레스에 대해 적극적으로 반응하지 못한다면 식물은 다음 세대로 이어질 수 없다. 식물이 병에 대해 반응하는 많은 기작들이 알려져 있는데, 특히  $\beta$ -1, 3-glucanase는 다양한 생물체(미생물, 곤충, 식물 및 동물 등)에 존재하면서  $\beta$ -1, 3-glucan 을 가수분해시키는 효소로서, glucanase 효소 활성은 사상균의 침입 시 강하게 증가하는 것으로 알려져 있다.

이에 따라  $\beta$ -1, 3-glucanase 환원당 정량한 값을 그림 3-28에 표시하였다. AMF 처리구에서 살펴보았을 때 접종 후 지속적인 활성 증가를 보였고, 특히 접종 후 7일 이후부터 활성이 서서히 증가되는 경향을 보이다가 11일 이후에는 다시 활성감소를 나타내고 있으나, AMF접종원을 처리하지 않은 대조구와 비교하여 특별한 유의성을 발견할 수 없었다. 그 이유는 식물의 세포가 성장하면서 끊임없이 glucanase의 활성이 발생하고, 또한 AMF는 병원균으로서 식물에게 작용하는 것이 아니기 때문이라고 판단된다.

## 2) Chitinase 활성 조사

chitinase는 다양한 생물체(미생물, 곤충, 식물 및 동물 등)에 존재하면서 chitin(N-acetyl-D-glucosamine polymer)을 가수분해 시키는 효소로서 fungi 세포벽의 주 구성분이다. Arbuscular mycorrhizal fungi(AMF)에 의해 식물 뿌리주위에 colonization 되는 과정은 식물과 미생물간의 구조적인 변화에 의해 이뤄진다.

Fungi가 식물의 피층을 통과하여 피층세포 내부에서 궁극적인 형태로 발달하는 과정에서 곰팡이 세포벽의 chitin 관련구조의 변형이 일어나는데, 이와 같은 과정이 식물 chitinase에 의해 이루어지는 것으로 알려져 있다. 비록 AMF의 공생관계 과정 중에 chitinase 활성이 매우 제한적으로 증가하는 것으로 알려져 있지만 chitinase 활성을 측정함으로써 AMF의 공생관계의 정도를 구분할 수 있는 방법으로 사용할 수 있다.

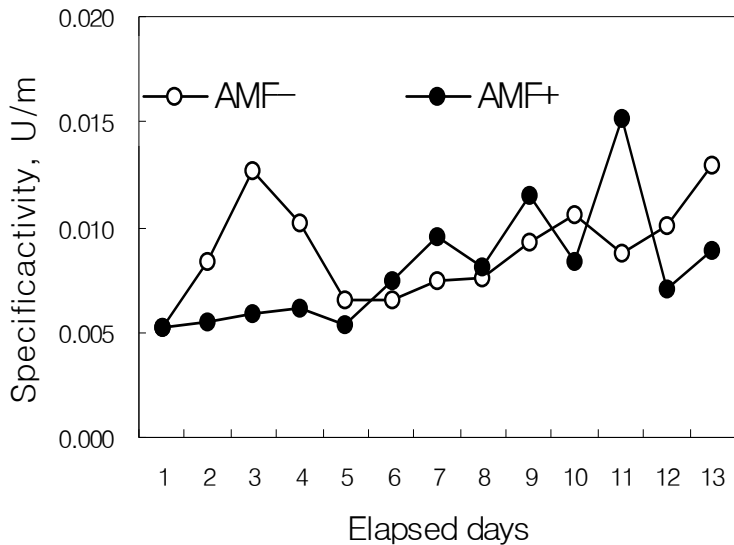


그림 3-28. AMF 처리된 인삼으로부터 접종시간별  $\beta$ -1, 3-glucanase activity 변화

묘삼에 AMF 접종 후 chitinase 활성을 나타낸 것은 그림 3-29와 같다. 대조구와 AMF 처리구에서 chitinase 활성이 비슷하게 진행되고 있었으며, 특히 AMF



처리구에서 접종 후 7일경에 chitinase의 활성이 가장 높은 수치를 나타냈는데, AMF가 식물 뿌리에 균사집락이 형성되기 시작하는 시기가 약 7일 정도 소요되는데 그 의미와 같은 것으로 판단된다.

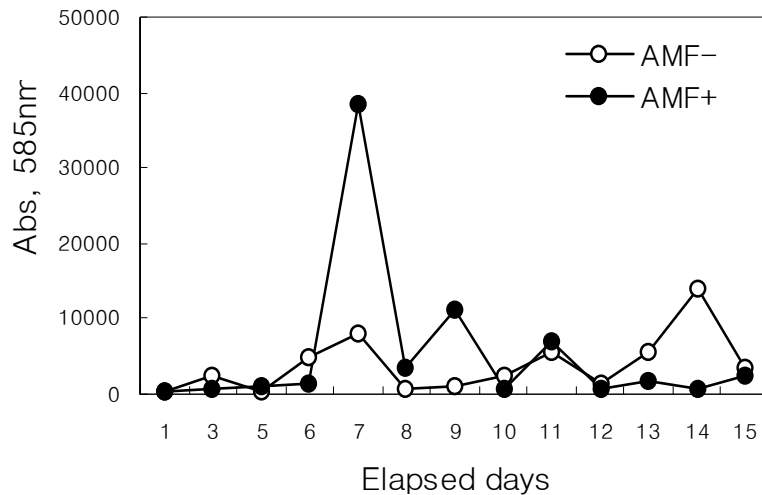


그림 3-29 . AMF 처리된 인삼으로부터 접종시간별 chitinase activity 측정

#### 4. 결과요약

관행의 인삼 재배시 묘삼 이식단계에 인삼포장에서 분리한 토착 AMF를 따로 증식하여 그 번식체를 묘삼에 접종하여 본포장 AMF 밀도를 증가시켜줌으로서 AMF의 조기감염을 유도시켜 인삼 생산성 향상을 증대시키는 방안을 수립하고자 AMF 접종원 부착용 접착제 선발, AMF접종에 대한 생육반응, 포자밀도변화와 감염구조 및 AMF접종과 관련된 인삼체 중의 병저항성 물질의 활성에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

접종원 부착용 접착제를 선발하기 위해 소맥분, 과당, 해조류 추출액 및

HEC(Hydroxyethylcellulose)등을 대상으로 AMF 접종원의 묘삼에 대한 부착량, 묘삼표피의 영향여부 등을 검토 한 결과 점도 150cps로 접종원 약 2g 부착능의 점도가 적당하였으며, 효율성과 경제성을 고려한 접착제 재료로서는 해조류(미역) 추출분해액 + HEC가 가장 바람직하다는 결론을 얻었다.

묘삼에 Arbuscular균근균(AMF) 접종효과를 확인하기 위해 생육반응을 조사한 결과 초장, 지상 지하부의 생육과 엽록소 함량 등에 AMF 접종원 처리구에서 향상되었으며, 묘삼이식 16주와 52주 후의 인삼 지하부 생체중은 대조구에 비해 각각 36.5%와 30.4% 증가되었다.

포자밀도와 감염율은 AMF를 접종한 처리구에서 대조구보다 각각 37%, 20% 높았으며, 토양 중 외부균사의 길이와 Glomalin 함량, 내수성 입단화 정도를 조사한 결과 AMF 처리구에서 모두 높은 수치를 나타냈다.

병저항성 물질과 관련되는  $\beta$ -1, 3-glucanase와 chitinase의 활성을 분석한 결과,  $\beta$ -1, 3-glucanase의 활성에서는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았고, chitinase의 활성은 AMF 처리구에서 묘삼 이식 후 7일경에 그 활성도가 급격히 증가되었다.

이상의 연구 결과로서 인삼 재배 시 묘삼 이식 단계에서 AMF 접종처리는 인삼의 초기생장 촉진은 물론 품질향상에 크게 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

## 제4절 전남지방의 인삼에 발생하는 주요 병의 종류 및 친환경적 방제 전략

### 1. 서 언

인삼에는 탄저병, 점무늬병, 뿌리썩음병, 모잘록병, 역병, 잣빛곰팡이병, 균핵병 등 19종이 발생하는 것으로 기록되어 있다. 탄저병이나 점무늬병처럼 지상부에 발생하는 병들은 매년 농약을 살포하지 않고서는 재배가 불가능 할 정도로 피해가 심각하며, 뿌리썩음병을 비롯한 토양전염성병들도 6년간 재배시 50% 이상의 수량 감소와 품질저하를 초래하고 있다. 특히 인삼재배지에서는 토양전염성병들로 인한재작이 불가능하여 매년 새로운 예정지가 요구되고 있다. 이로 인하여 인삼의 주산지인 충청, 전북지역에서는 신규 재배지 확보가 매우 어렵다.

최근 주산지의 재배 농가들은 새로운 예정지를 찾아 전남지역으로 몰려오고 있다. 이렇게 하여 전남지역 인삼 재배면적은 지난 97년 73ha에 불과했으나 2003년 572.5ha, 2005년 610ha, 지난해 647.9ha, 올해 1월말 현재 900ha로 급증했고, 재배지역도 나주, 영암, 해남, 강진 등 14개 시·군으로 확대됐다. 이에 전남지역 인삼재배 면적이 최근엔 전국 23%까지 확대되며 새로운 주산지로 떠오르고 있다. 따라서 전남 지방 인삼재배지에서 발생하는 병의 종류 및 특성 등을 구명하는 것은 효과적인 병 방제 전략을 수립하는데 무엇보다 중요하다.

또한, 우리 정부는 물론 전 세계가 병 방제에 각종 유해한 화학물질을 가능한 한 사용하지 않도록 규제하고 있다. 특히 국민건강에 중대한 영향을 미치는 중금속은 이미 오염규제대상이 되었고, DDT(디디티), BHC(비에이치시) 등의 살포도 금지되었다. 최근에는 일반 농가에서 사용되고 있는 대부분의 유기합성농약에 대해서도 다양한 방법으로 규제하고 있고, 화학비료의 사용도 가능한 한 줄일 수 있는 정책을 펴고 있다. 이제는 인삼의 경우에도 가능한 한 합성 농약의 사용을 줄이거나 아예 살포하지 않아야 할 시기에 와 있다. 더욱이 중국 인삼과의 경쟁에서 살아남기 위해서는 친환경적으로 재배된 인삼이 필요할 것이다.

이 연구에서는 전남 지방의 인삼재배 농가들이 활용할 수 있는 효과적인 병 방제 계획을 수립하기 위해서 주요 병의 발생시기 및 발생생태를 조사하였으며, 이들을

근거로 하여 주요 병에 대한 친환경적 병 방제체계를 수립하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 주요 인삼 병의 종류 및 특성

#### 1) 전남지방의 인삼 병 발생 실태 조사

2004년 4월부터 9월까지 1주 간격으로 전남 해남군, 영암군, 무안군, 나주시, 곡성군, 순천시, 영광군 등의 인삼포장을 돌아다니면서, 발생하는 병의 종류 및 피해 정도를 조사하였고, 2005년과 2006년에는 1달 간격으로 병 발생 상황을 관찰하였다.

#### 2) 이병조직으로부터 병원균의 분리

##### (가) 병원균의 분리

지상부 병원균은 병든 부위(병반)를 0.5cm 간격으로 절단하여 10% NaOCl에서 2분 동안 표면 소독한 다음, 멸균수에 세척하고, 멸균 여과지에서 물기를 완전히 제거 후 PDA에 치상하여 성장한 미생물을 조사하였다. 토양 병은 병든부위를 상기와 같이 표면 소독 후, 표 3-23의 선택배지, 즉 *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp., *Pythium* spp., *Phytophthora* spp.의 선택배지위에 올려놓고 28℃ 항온기에서 배양하여 배지에 자란 미생물을 분리하였다.

##### (나) 병원균의 형태적 특징 관찰

PDA와 선택배지에서 분리된 곰팡이의 균사를 물 한천배지에 접종하고 28℃에서 하룻밤 배양 후, 현미경 하에서 균사의 끝 부분만 감자전즙한천배지(PDA)에 접종, 배양하였다. 상기의 과정을 두, 세 번 더 실시하여 한 종류의 곰팡이만 순수 분리하였다. 이들 곰팡이는 PDA에서 자란 균총의 형태, 균사 및 포자의 모양을 현미경하에서 조사하여 문헌 및 도감에 나온 것들과 비교, 동정하였다.

#### 3) 죽은 줄기에 분포하고 있는 병원균의 종류 및 형태적 특징 관찰

인삼포장에서 방치되고 있는 죽은 줄기를 채취, 껍질을 벗겨 슬라이드그라스위에

올려 놓고 현미경하에서 관찰하였다.

표 3-23. 병원균을 분리하기 위한 선택배지의 구성성분.

배지성분	<i>Phytophthora</i> spp.		<i>Pythium</i> spp.	
영양원	Cornmeal agar(Difco)	17g	Cornmeal agar(Difco)	17g
	pH 4.0			
항생물질	Pimaricin	5mg	Pimaricin	5mg
	Vancomycin	200mg	Vancomycin	200mg
	PCNB	100mg	PCNB	100mg
	PenicillinG	100mg	Rosebengal	10mg
	Benomyl	2.5mg		
	Hymexazol	20mg		
배지성분	<i>Rhizoctonia solani</i>		<i>Fusarium</i> spp.	
영양원	Agar	15.0g	Agar	20.0g
	Sucrose	50.0g	Peptone5	5.0g
	KN <sub>3</sub>	10.0g	KH <sub>2</sub> P <sub>0</sub> <sub>4</sub>	1.0g
	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5.0g	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.5g
	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	2.5g		
	Fe <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	20mg		
항생물질	Rose Bengal	67mg	Oxgall	1.0g
			PCNB	100mg
			Chlorotetracycline HCL	50mg
			Streptomycin sulfate	100mg

나. 주요 인삼 병의 친환경적 방제 전략

1) 인삼 병원균에 길항하는 미생물의 분리 및 동정

(가) chitin분해미생물의 분리

(1) 키틴 한천배지의 조제 : 증류수 1L당 colloidal chitin, 2g; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 3g;

K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 3g; MgSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O, 0.2g; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 5.6mg; CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O, 0.4g; ZnSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O, 0.5mg; NaMoO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O, 1.5mg; Fe citrate, 1.0mg; CaCl<sub>2</sub>, 10mg; Yeast extract, 0.2g. pH 7.0으로 하여 고압 멸균시켰다.

(2) colloidal chitin조제 : 키틴 (chitin, SigmaC-4666) 40g을 염산 400mL에 넣고 10분 동안 저으면서 녹여서 glass wool을 통과하여 여과하였다. 여과된 액의 염산을 제거하기 위하여 수돗물 5L를 첨가하여 키틴을 침전시킨 후, 상등액을 제거하였다. 상등액의 pH가 중성에 가깝도록 될 때까지 앞의 과정을 3-5번 반복하였다.

### (3) 키틴분해미생물의 선발

하우스 토양을 채취하여 멸균수에 희석하고, 키틴 한천배지 위에 도말하여, 28℃에서 3일 배양 후, clear zone이 큰 균주를 분리하였다.

#### (나) 길항미생물의 선발

*Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora cactorum*, *Pythium ultimum*, *Fusarium oxysporum*, *Alternaria panax*, *Colletotrichum gloeosporioides*의 균사 절편 (직경 0.5cm)을 PDA의 중앙에 접종하고, 그 인접 4부위에 키틴분해세균을 접종하였다. 이들 배지를 28℃ 항온기에서 4-5일간 배양하여 키틴분해 세균과 병원균 균사 사이에 형성된 억제대의 크기를 조사하고, 균사 억제력이 큰 균주를 선발하였다.

#### (다) 길항미생물의 동정

길항세균의 chromosomal DNA를 추출하여 PCR로 16S rDNA 유전자를 증폭시킨 다음 염기서열을 결정하여 알려진 균주의 염기서열과 homology search하였다.

## 2) 인삼 탄저병과 점무늬병의 친환경적 방제

### (가) 죽은 식물의 제거에 의한 병 방제효과

전남 해남군 산이면 인삼포장에서 2005년 6~7월에 고사된 지상부를 제거하고 7월25일에 병든 잎을 조사하였다.

#### (나) 비가림 차광판에 의한 방제효과

2005년 7월25일 비가림차광관이 설치된 포장에서 조사된 병든 잎과 일반 차광망이 설치된 포장에서 조사된 병든 잎을 비교하여 방제효과를 알아보았다.

(다) 미생물제의 처리에 의한 병 방제효과

(1) 공시균주 및 배양 : *Chromobacterium sp. strain C-61*와 *Lysobacter enzymogenesis* 의 두 키틴분해성 길항세균을 500L 대량배양기에서 배양되었다. 이 배양기에 0.2%의 키틴이 함유된 최소영양배지를 넣고 길항세균을 접종한 다음 28℃에서 10일 동안 배양하여 미생물제로 이용하였다.

(2) 포장에서의 병 방제효과 조사

① 2005년도 실험

○ 3, 4년근 포장 : 비가림차광관이 설치된 3, 4년근 포장에 10일 동안 배양된 미생물제를 처리 당 100평씩 6말을 살포하고 20일 후 탄저병과 점무늬병의 이병엽율을 조사하였다.

○ 5년근 포장 : 비가림차광관이 설치되고 죽은 식물이 제거된 5년근 포장에 10일 동안 배양된 미생물제를 6월 3일, 6월 12일, 7월 4일, 7월 25일에 200평에 10말 정도 4회 살포하였다. 대조구로 인삼 점무늬병과 탄저병 약제인 아족시스트로빈 액상수화제를 동일한 방법에 의해서 살포한 후 인삼 탄저병과 점무늬병에 대한 방제효과를 비교하였다.

② 2006년도 실험

비가림차광관이 설치되고 죽은 식물이 제거된 6년근 포장에 10일 동안 배양된 미생물제를 6월 1일, 6월 15일, 7월 3일, 7월 24일에 200평에 10말 정도 4회 살포하였다. 대조구로 인삼 점무늬병과 탄저병 약제인 아족시스트로빈 액상수화제를 동일한 방법에 의해서 살포한 후 인삼 탄저병과 점무늬병에 대한 방제효과를 비교하였다.

3) 인삼 모잘록병과 갯빛곰팡이병의 생물적 방제

(가) 풋트 실험 : 전남 해남군 산이면 인삼포장의 토양을 풋트에 담고 개갑된 인삼 종자를 파종한 다음, 10일 동안 배양된 각 미생물제를 토양 관주하고 순천대학 구내 온실에서 재배하면서 15일 후의 출아율과 30일 후의 이병묘율을 조사하였다.

(나) 포장 실험

(1) 2005년도 실험: 전남 해남군 산이면 박병주씨의 포장에서 실시되었다. 모잘록병 방제실험은 종자 파종일인 2004년 12월 14일에 10일 동안 배양된 미생물제 (*Chromobacterium sp. strain C-61 + Lysobacter enzymogenesis + Streptomyces sp. strain S-2* 혼합 배양액)를 200평에 20말 정도 1차 토양 관주하고, 2005년 4월 30일에 2차 관주 후, 5월 20일에 이병묘율을 조사하였다. 또한 대조구로서 토로스분제를 종자에 분의 소독 후 파종하여 방제효과를 비교하였다. 잿빛곰팡이 방제실험은 5년근 포장에 4월 30일, 5월 14일, 6월 3일에 3회 토양관주하고 7월 15일에 이병묘율을 조사하였다.

(2) 2006년도 실험 : 전남 해남군 산이면 박병주씨의 포장에 종자 파종일인 2004년 12월 10일에 10일 동안 배양된 미생물제(*Chromobacterium sp. strain C-61+Lysobacter enzymogenesis*) 200평에 20말 정도 1차 토양 관주하고, 2005년 4월 25일에 2차 관주 후, 5월 20일에 모잘록병 이병묘율을 조사하였다. 또한 대조구로서 토로스분제를 종자에 분의 소독 후 파종하여 방제효과를 비교하였다.

### 3. 연구결과

가. 전남지방에서 발생하는 주요 인삼 병의 종류 및 발생생태

인삼의 병에 대하여 많은 연구가 수행되어 왔지만, 최근 재배되기 시작한 전남지방의 인삼포장에 발생하는 병의 종류 및 병 발생시기 등에 대한 연구 결과는 없다. 따라서 이 연구에서는 당초계획에 포함되어 있지 않지만 전남 인삼포장에 발생하고 있는 병의 종류 및 그 발생시기 등을 2004년 4월부터 9월까지 조사하였다. 그 결과, 지상부에 발생하는 병으로 점무늬병, 탄저병이 문제시되고 있었고, 지하부 병으로 모잘록병, 잿빛곰팡이병, 뿌리썩음병(근부병), 뿌리혹선충이 문제시되고 있었다. 2005년도 2006년도의 조사에서도 비슷한 양상을 보여 주었다.

#### 1) 지상부 병의 병징과 병발생시기

(가) 점무늬병 : 줄기, 잎자루(엽병), 잎에 발생하는데, 2004년 전남지방의 경우 줄기는 4-5월, 잎자루와 잎에는 6월 17일 이후부터 관찰되었다.

줄기의 경우 초기에는 방추형의 병반이 형성되어 대부분 부러지고 그 윗부분이



시든다 (그림 3-30A, B). 후기에 병반 주변에 흑갈색의 곰팡이를 형성한다(그림 3-30C).

잎자루의 경우 암갈색의 병반이 형성되어 잎에까지 진전된다. 이 증상은 역병과 혼동하기 쉬운데, 잎의 경우 점무늬병은 잎맥을 따라 반점이 형성되지만 역병은 뜨거운 물에 데친 것 같은 증상을 나타낸다. 잎의 경우 암갈색의 반점을 형성하는데, 병반이 엽맥을 따라 진전되는 것이 특징이다(그림 3-30).

(나) 탄저병 : 2004년 전남지방의 경우 6월 10일에 최초 관찰되었다.

주로 잎에 발생하는데 초기에는 원형의 작은 적갈색 반점이 생기고 주위는 담황색을 띤다. 진전하면서 중앙에는 갈색으로 변하고 병반이 떨어져 나가 구멍이 생긴다 (그림 3-31). 심하면 병반이 융합하여 커지고 잎이 황변하여 말라 떨어진다. 오래된 병반위에서는 흑색의 작은 점이 관찰되는 경우가 있다.

탄저병과 잎점무늬병은 6월 하순이후 거의 모든 포장에서 동시에 발생되고 동일 잎 혹은 하나의 병반에서도 두 병이 혼재되어 있는 경우가 많으므로 구별하기가 쉽지 않다. 그러나 잎 점무늬병은 병반이 엽맥을 따라 진전되어 더 크고, 타원형 또는 부정형이지만, 탄저병은 작은 원형의 병반이 원형으로 진전되고 병반이 더 작다.

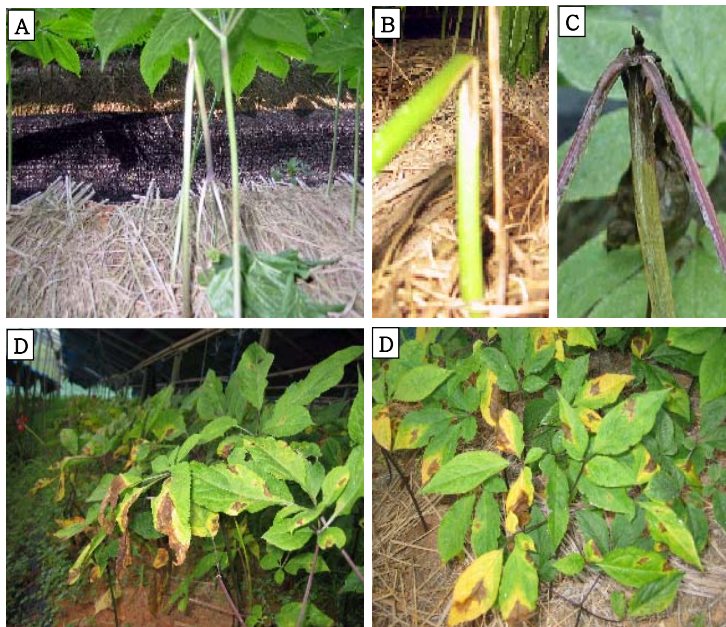


그림 3-30. 줄기 점무늬병(A, B, C) 과 잎 점무늬병(D)의 병징



그림 3-31. 탄저병의 병징

## 2) 지하부 병의 병징과 병 발생시기

### (가) 잿빛곰팡이병

3월 하순~5월에 출아 후 지제부가 부패하여 지상부가 쓰러지고 시들어서 말라죽는데, 후기에는 뇌두부분까지 부패하여 줄기가 쉽게 뽑힌다(그림 3-32A,B). 이 증상은 토양병원균인 *Rhizoctonia solani*에 의한 모잘록병 증상과 비슷하고, 또한 모잘록병반을 2차적으로 침입하여 발생하는 경우도 있다. 이 병원균은 전형적인 사물기생균이기 때문에 건전 줄기나 잎을 직접 침입하여 병을 일으키기는 어렵고, 토양 병(모잘록병, 근부병)이나 줄기 점무늬병에 의해서 죽은 마른 줄기, 종자 채취 후의 마른 꽃대, 그리고 마른 잎 등에서 다량의 잿빛무늬병균을 형성하고(그림 3-32C, D, E), 그들이 떨어진 혹은 접촉된 부위에서 병이 발생하였다(그림 3-32F).

### (나) 모잘록병

4월 중순~5월 상순에 발생하였는데, 토양속에 있는 병원균이 지상부로 출아 전 묘삼 싹을 고사시키는 경우도 있고, 출아한 이후 지제부(땅과 접한 부위)의 줄기가 잘록해져 쓰러지는 경우(그림 3-33A)가 있었다.

### (다) 뿌리썩음병

6월 중.하순경 잎 가장자리부터 붉은색을 띄면서 잎 전체가 서서히 변색되는 조기 홍엽 증상을 보이거나 잎이 변색되지 않고 배 모양으로 안쪽으로 오므라드는 증상을 보이다가 7월 하순 이후 고사한다. 뿌리의 경우에는 발병 초기에 원형 또는 부정형의 흑갈색 병반이 형성되어 건부하며, 세근은 모두 소실되거나 적갈색으로 변색되어 부패하고 병이 진전됨에 따라 점차 확대되어 부패된다. 병이 진전되어 다른 병원

균에 2차 감염되었을 경우에는 물렁물렁하게 썩는 경우도 있었다 (그림 3-33B).

(라) 뿌리혹선충

뿌리에 다수의 혹이 형성되기 때문에 쉽게 진단 가능하다. 혹의 끝에 노란 고름주머니 같은 것이 있는데, 이것이 알 주머니이다 (그림 3-34B).

(마) 역병

잎, 줄기, 뿌리에서 발생한다. 잎의 경우 잎 가장자리로부터 안쪽으로 뜨거운 물에 데친 것과 같은 대형 병반을 형성하고, 줄기의 경우 짙은 녹색을 띄면서 움푹 들어가고 손으로 만지면 껍질이 쉽게 벗겨졌다 (그림 3-34A).

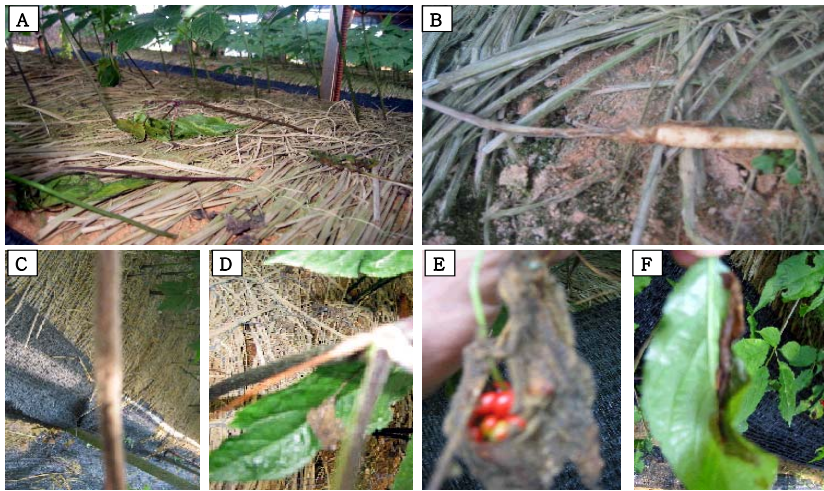


그림 3-32. 지제부의 전형적인 짓빛곰팡이병 병징(A, B)과 마른 줄기(C), 꽃대(D), 잎(E, F)의 잎이 건전 잎에 떨어져서 병이 발생한 모습(F)

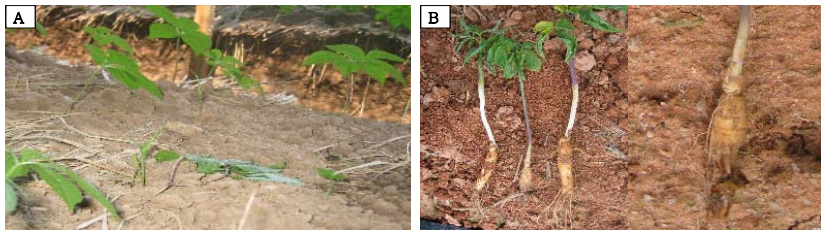


그림 3-33. 모잘록병(A)과 뿌리썩음병(B)의 병징

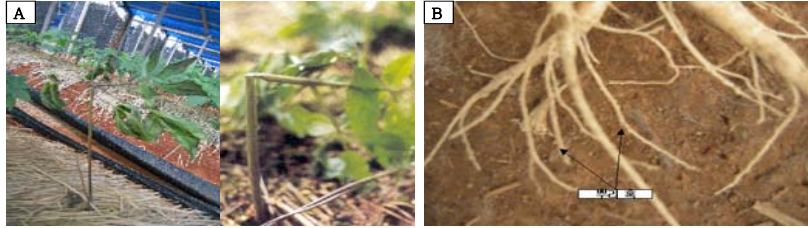


그림 3-34. 역병(A)과 뿌리혹선충(B)의 병징

## 2) 주요 인삼 병원균의 특성

### (가) 병원균의 종류 및 균총의 형태

지상부의 병인 점무늬병으로부터 *Alternaria panax*, 탄저병으로부터 *Colletotrichum gloeosporioides*를 분리하였다. 토양 병인 잿빛곰팡이병으로부터 *Botrytis cinerea*, 모잘록병으로부터 *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, 뿌리썩음병으로부터 *Cylindrocarpon destructans*, *Fusarium oxysporium*, *Fusarium solani*. 역병으로부터 *Phytophthora cactorum* 등을 분리 혹은 분양받았다(그림 3-35).



(*Alternaria panax*) (*Colletotrichum gloeosporioides*) (*Botrytis cinerea*)

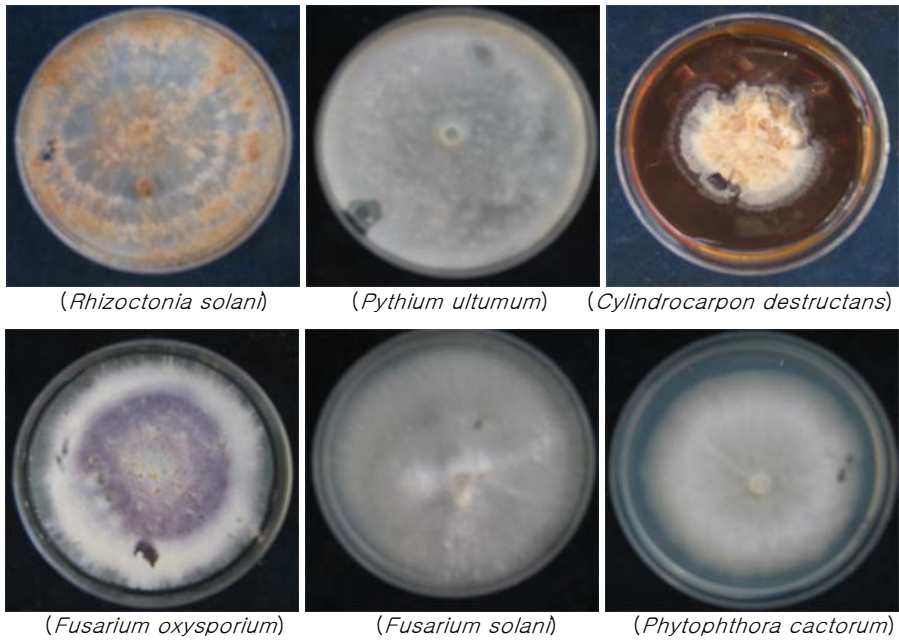
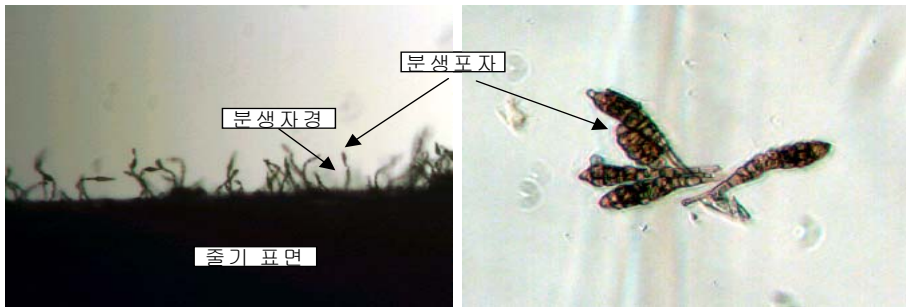


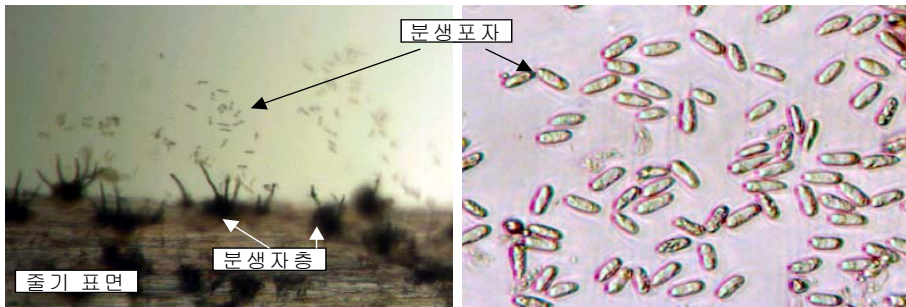
그림 3-35. 병든 조직에서 분리 혹은 분양받은 인삼의 병원균들

(나) 죽은 줄기에서 관찰된 병원균의 특징

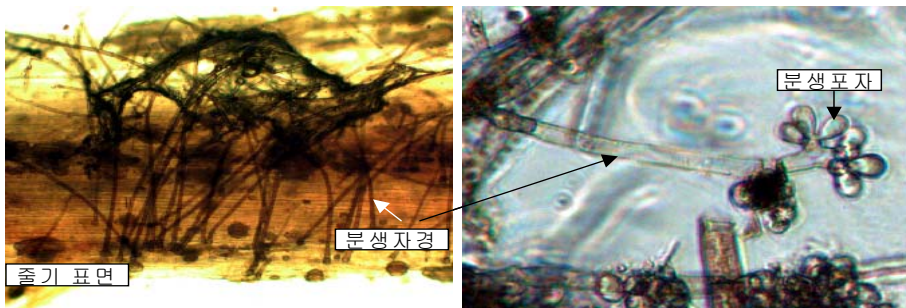
전남 지방 인삼포장에는 죽어서 마른 식물체가 대부분의 포장에서 방치되고 있었다. 따라서 이들 마른 줄기에 분포하고 있는 병원균들의 특징을 조사해 본 결과, 지상부에 병을 일으키는 점무늬병균(*Alternaria panax*) (그림 3-36A), 탄저병균(*Colletotrichum gloeosporioides*)(그림 3-36B)과 지체부에 병을 일으키는 잿빛곰팡이병균 (*Botrytis cinerea*) (그림 3-36C) 들이 무수히 분포하고 있었다. 따라서 이들 병은 마른 줄기 등에서 증식하여 건전 식물체에 피해를 입히는 것으로 판단되었다



(A : 정무늬병균(*Alternaria panax*)의 분생자경과 분생포자)



(B : 탄저병균(*Colletotrichum gloeosporioides*)의 분생자층과 분생포자)



(C : 잿빛곰팡이병균(*Botrytis cinerea*)의 분생자경과 분생포자)

그림 3-36. 마른 줄기 표면에서 관찰된 병원균의 형태적 특징

## 나. 전남 지방의 주요 인삼 병에 대한 친환경적 방제 전략

### 1) 인삼 병원균에 길항하는 미생물의 선발 및 동정

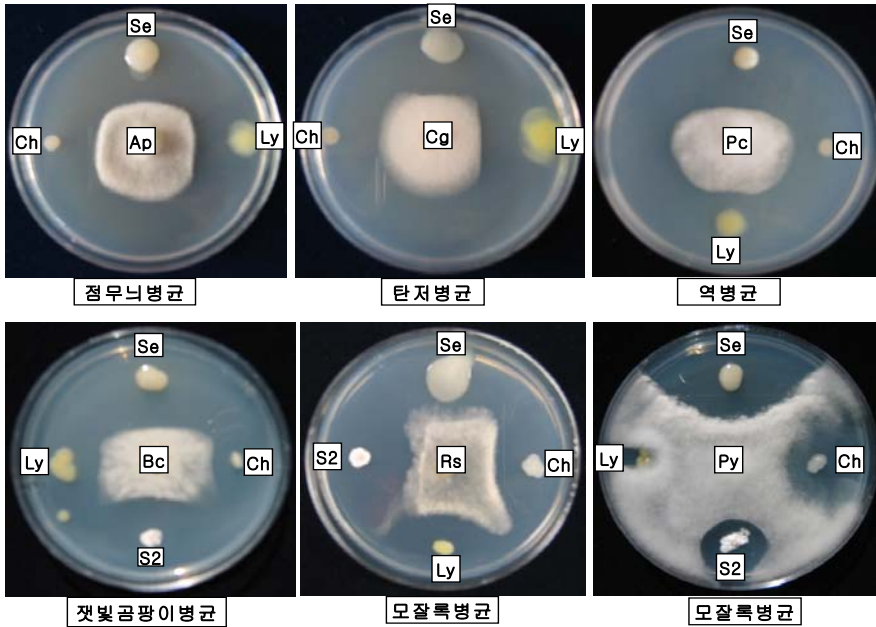


그림 3-37. 인삼의 여러 병원균에 대한 우수한 길항미생물. 병원균 : Ap = *Alternaria panax*, Cg = *Colletotrichum gloeosporioides*, Pc = *Phytophthora cactorum*, Bc = *Botrytis cinerea*, Rs = *Rhizoctonia solani*, Py = *Pythium ultimum*, 길항미생물 : Se = *Serratia* sp. Ch = *Chromobacterium* sp., Ly = *Lysobacter enzymogenes*, S2 = *Streptomyces* sp.

(가) 키틴분해미생물 중에서 우수한 균사 성장 억제력을 가진 균주의 선발

키틴분해미생물들은 식물병원진균의 세포벽을 분해하여 식물병을 억제하는 것으로 알려져 있다. 따라서 이 연구에서는 인삼 포장에 분포하고 있는 여러 키틴분해미생물들로부터 PDA위에서 인삼의 병원균인 *Alternaria panax*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Phytophthora cactorum*, *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*의 균사성장 억제력을 조사하였다.

그 결과, 그림 3-37에서 보는 바와 같이 *Alternaria panax* 에 대해서는 Se, Ch, Ly 모두, *Colletotrichum gloeosporioides*에 대해서는 Se와 Ly가 억제하였다. 또한 *Phytophthora cactorum*, *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*등은 모든 키틴분해미생물에 의해서 억제되었다. 특히, *Ph. cactorum*, *Bo. cinerea*, *Py. ultimum*은 Se에 의해서 가장 크게 억제된 반면, *Rh.*

*solani*는 Ly와 Ch에 의해서 더 크게 억제되었고, 방선균인 S2 균주는 *Bo. cinerea*와 *Rh. solani*를 크게 억제하였다.

(나) 길항미생물의 키틴분해 능력 비교

각 병원균에 우수한 억제력을 가진 3 균주를 선정, 키틴배지에서의 분해능력을 비교한 결과, 그림 3-38에서 보는 바와 같이 Ch 균주가 가장 우수하였고, 그 다음으로 Ly 균주이었으며, Se 균주는 가장 낮은 분해력을 나타냈다.

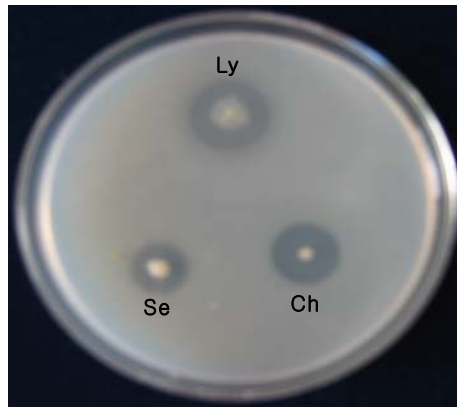


그림 3-38. 길항미생물의 키틴분해능력. Ly = *Lysobacter enzymogenes*  
Se = *Serratia* sp., Ch = *Chromobacterium* sp.

(다) 길항미생물의 동정

선발된 길항미생물에 대한 16S rRNA 유전자의 염기서열을 결정하여 유사성을 분석한 결과, 표 3-24에서 보는 바와 같이 Ch는 *Chromobacterium violaceum*과 93.0%의 유사성을 나타내고 다른 균주와는 50% 이하의 유사성을 나타내서 *Chromobacterium* sp. strain C61로 명명하였다. Ly는 *Lysobacter enzymogenes*와 99.51%, *Lysobacter antibioticus*와 97.71%, *Lysobacter gummosus*와 97.39%의 유사성을 나타내서 *Lysobacter enzymogenes*로 동정하였다. 한편, Se는 *Serratia plymuthica*와 99.67%, *Serratia quinovora*와 99.50%, *Serratia proteamaculans*와 98.67%의 유사성을 나타내서 *Serratia* sp. strain C1로 명명하였다.



표 3-24. 16S rRNA 염기서열에 의한 길항미생물의 동정

분리균주	대조균주	유사성	동정균주
Ch	<i>Chromobacterium violaceum</i>	93.00	<i>Chromobacterium</i> sp. strain C61
	<i>Aeromonas hydrophila</i>	48.52	
Ly	<i>Lysobacter enzymogenes</i>	99.51	<i>Lysobacter</i> <i>enzymogenes</i>
	<i>Lysobacter antibioticus</i>	97.71	
	<i>Lysobacter gummosus</i>	97.39	
Se	<i>Serratia plymuthica</i>	99.67	<i>Serratia</i> sp.strain C1
	<i>Serratia quinovora</i>	99.50	
	<i>Serratia proteamaculans</i>	98.67	

## 2) 인삼 탄저병과 점무늬병의 친환경적 방제 전략

전남의 인삼포장에서는 지상부 병으로 점무늬병과 탄저병이 문제시되고 있었고, 이들 병원균은 포장에서 방치되고 있는 죽은 줄기에 많이 분포하고 있는 것으로 조사되었다 (그림 3-39). 따라서 이번 실험에서는 이들 병을 친환경적으로 방제할 수 있는 가설을 세워서 실험에 의해서 그 효과를 검증하였다.

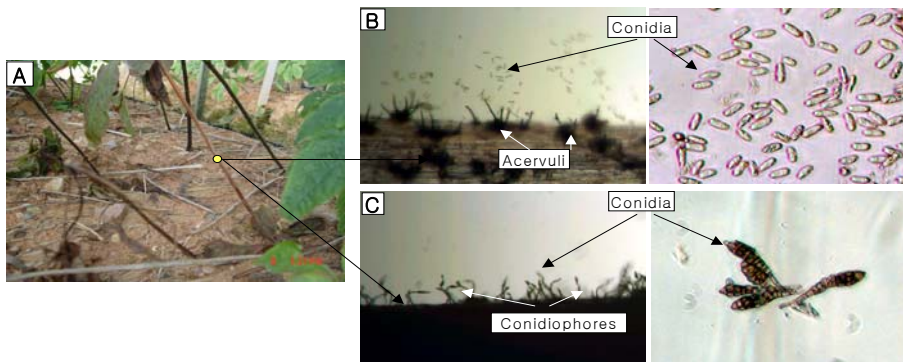


그림 3-39. 인삼 포장의 죽은 줄기 (A)와 그들 위에 분포하고 있는 탄저병균(*Colletotrichum gloeosporioides*)(B) 및 점무늬병균(*Alternaria panax*) (C)

(가) 고사된 식물체의 제거에 의한 병 방제효과

탄저병균과 점무늬병균은 고사된 지상부 줄기에서 많이 관찰되었기 때문에 고사된 줄기를 제거하였을 경우 상당한 병 방제효과가 있을 것으로 기대되었다. 따라서 고사된 줄기를 제거한 포장과 제거되지 않은 포장의 병방제 효과를 조사하였다. 그 결과, 탄저병의 경우 고사된 식물을 제거하였을 경우에는 이병엽율이 9.5%, 제거하지 않았을 경우에는 13.5%로서 고사된 식물의 제거에 의해서 29.6%의 방제가를 보여주었다. 한편, 점무늬병의 경우에는 고사된 식물을 제거하였을 경우 이병엽율이 20.5%, 제거하지 않았을 경우 27.3%로서 24.9%의 방제가를 나타냈다 (그림 3-40). 이와 같이 단지 고사된 식물체만 제거하더라도 상당한 방제효과를 나타냄을 알 수 있었다.

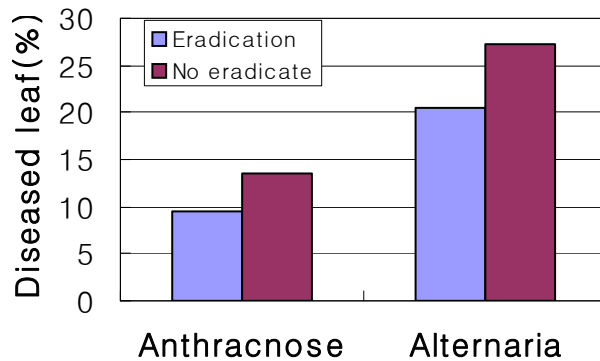


그림 3-40. 고사된 식물체의 제거에 의한 탄저병과 점무늬병의 방제효과  
탄저병은 29.6%, 점무늬병은 24.9%의 방제가를 나타냄

(나) 비가림 차광판에 의한 병 방제효과

탄저병균의 포자는 그림 3-39에서 보는 바와 같이 죽은 줄기의 조직속(분생자층)에 존재하기 때문에 빗물에 의해서 전파되고, 점무늬병균의 포자는 줄기 표면 위에 노출되어 있기 때문에 바람에 의해서 잘 분산, 전파될 것으로 판단되었다. 따라서 비가림 차광판은 탄저병을 상당히 방제할 수 있을 것으로 기대되어 동일

포장내에서 비가림차광판이 설치된 지역과 일반차광망이 설치된 지역 (그림 3-41A) 의 병발생정도를 비교하여 보았다. 그 결과 비가림차광판이 설치된 지역에서 발생한 탄저병 (12.3%의 이병엽율)과 점무늬병 (25.7%) 은 일반차광망이 설치된 지역에서 발생한 탄저병 (20.2%)과 점무늬병 (34.3%) 보다 병발생정도가 훨씬 더 낮음을 알 수 있었다. 이들의 병발생정도를 방제가로 환산하였을 경우, 비가림차광판은 일반 차광망에 비하여 탄저병은 39.1%, 점무늬병은 25.1%의 방제효과를 나타냄을 알 수 있었다. 이처럼 탄저병은 물론 점무늬병도 비가림차광판에 의해서 상당한 병 방제효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다 (그림 3-41B).

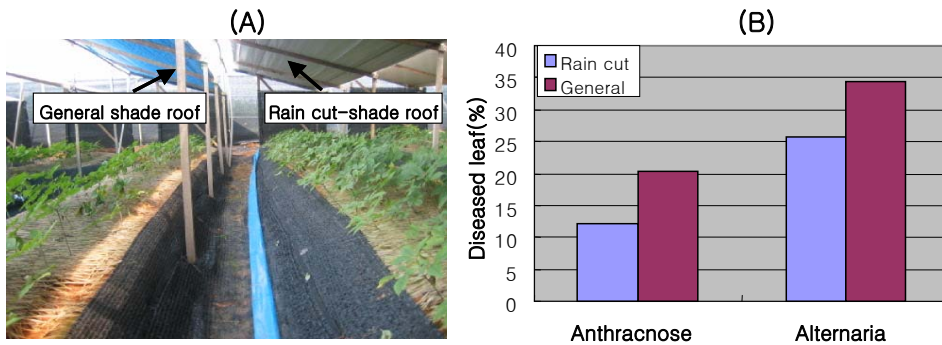


그림 3-41. 비가림 차광판에 의한 인삼 탄저병(Anthracnose)과 점무늬병(Alternaria)의 방제효과. 탄저병은 39.1%, 점무늬병은 25.1%의 방제가를 나타냄

(다) 미생물제의 처리에 의한 병 방제효과

여러 키틴분해미생물들로부터 탄저병 (*Colletotrichum gloeosporioides*)과 점무늬병균 (*Alternaria panax*) 을 억제할 수 있는 *Serratia plymuthica*, *Chromobacterium sp.* strain C-61 및 *Lysobacter enzymogenesis*(그림 3-37)에 대한 생물적 방제효과를 검증하였다. 이들 균주 중에서 *Serratia plymuthica*는 인삼에 피해를 주었기 때문에 (그림 3-42A), *Chromobacterium sp.* strain C-61 과 *Lysobacter enzymogenesis*의 혼합배양액을 미생물제로 이용하였다.

비가림차광판이 설치된 3년근과 4년근 포장에 미생물제를 살포한 뒤 처리구와 무처리구의 병 방제효과를 조사한 결과, 탄저병은 3년근포장에서 79.3%, 4년근 포장에서 80.8%의 방제가를 나타냈고, 점무늬병의 경우에도 3년근포장에서 82.6%, 4년근 포장에서 80.5%의 방제가를 나타냈다(그림 3-42). 즉, 본 미생물제는 두 포장 모두에서 탄저병과 점무늬병에 대하여 우수한 방제효과를 보여주었다.

2005년 비가림차광판이 설치된 5년근 포장에서 죽은 식물을 제거하고, 200평당 10말 정도의 미생물제를 6월 3일, 6월 12일, 7월 4일, 7월 25일 4회 살포하였고, 대조구로 유기합성농약인 아족시스트로빈 액상수화제를 살포하여 병 방제효과를 비교하였다. 그 결과 미생물제를 살포하였을 경우 탄저병은 81.3%, 점무늬병은 84.7%의 높은 방제가를 나타냈는데, 이들 방제 효과는 유기합성농약인 아족시스트로빈 액상수화제를 처리하였을 경우와 비슷한 수준이었다 (표 3-25).

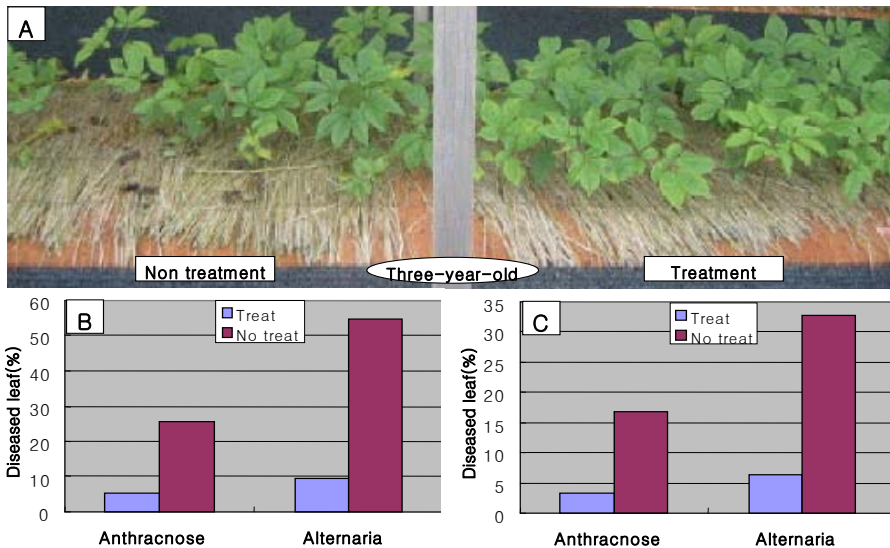


그림 3-42. *Lysobacter enzymogenensis*와 *Chromobacterium* sp. strain C-61의 혼합배양액을 인삼포장에 살포하였을 경우의 탄저병(Anthracnose)과 점무늬병(Alternaria)의 방제효과 A,B : 3년근 포장, C : 4년근 포장

표 3-25. 인삼 탄저병과 점무늬병에 대한 미생물제의 방제효과(2005년도)

처리	탄저병		점무늬병	
	이병엽율(%)	방제가(%)	이병엽율(%)	방제가(%)
미생물제	5.9 a	81.3	11.1 a	84.7
살균제	7.3 a	76.7	10.3 a	85.8
무처리	31.6 b	-	72.3 b	-

\* 미생물제 = *Lysobacter enzymogenis* 와 *Chromobacterium* sp. strain C-61의 혼합 배양액

\* 살균제 = 아족시스트로빈 액상수화제, 2000배. (15말/200평)

2005년도에 본 미생물제에 의한 병 방제효과가 우수하였기 때문에, 2006년도에도 비가림차광관이 설치된 6년근 포장에서 죽은 식물을 제거하고, 200평당 10말 정도의 미생물제를 6월 1일, 6월 15일, 7월 3일, 7월 24일 4회 살포하여 유기합성농약인 아족시스트로빈 액상수화제와의 병 방제효과를 비교해 보았다. 표 3-26에서 보는 바와 같이 미생물제에 의한 방제효과가 인정되기는 하였지만, 유기합성농약인 아족시스트로빈 액상수화제에 의한 방제효과에는 못 미쳤다.

표 3-26. 인삼 탄저병과 점무늬병에 대한 미생물제의 방제효과(2006년도)

처리	탄저병		점무늬병	
	이병엽율(%)	방제가(%)	이병엽율(%)	방제가(%)
미생물제	35.4 a	53.2	48.7 a	51.3
살균제	16.5 b	78.2	19.5 b	80.5
무처리	75.6 c	-	100.0 c	-

\* 미생물제 = *Lysobacter enzymogenis* 와 *Chromobacterium* sp. strain C-61의 혼합 배양액

\* 살균제 = 아족시스트로빈 액상수화제, 2000배. (15말/200평)

### 3) 인삼 모잘록병과 잿빛곰팡이병의 생물적 방제

길항세균으로 선발된 *Serratia plymuthica*, *Chromobacterium* sp. strain C-61 및 *Lysobacter enzymogenesis* 등은 PDA배지위에서 모잘록병균인 *Rhizoctonia solani*, *Pythium* sp. 과 잿빛곰팡이병균인 *Botrytis cinerea* 의 균사 성장 억제력도 우수하였다 (그림 3-37).

따라서 모잘록병에 대한 이들 길항세균의 병 억제력을 포트 상태에서 조사하였는데, *Chromobacterium* sp. strain C-61 와 *Lysobacter enzymogenesis* 는 인삼의 출아율을 높혀주었으나, *Serratia plymuthica* 는 출아를 크게 억제하였다. 또한 *Serratia plymuthica* 는 인삼의 어린 잎에도 피해를 주었기 때문에 인삼 포장에서 사용할 수 없는 균주로 결론을 내렸다. 한편, *Chromobacterium* sp. strain C-61 와 *Lysobacter enzymogenesis* 는 포트 상태에서의 모잘록병 억제에 상당한 효과가 있음을 알 수 있었다 (그림 3-43).

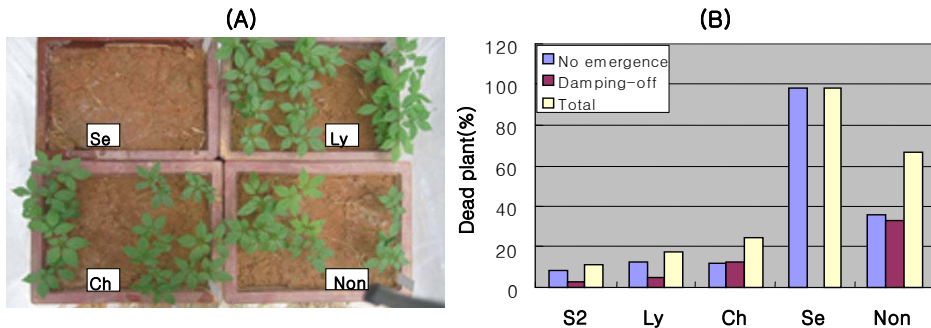


그림 3-43. 포트 조건에서 길항세균이 인삼의 출아(A) 및 모잘록병의 발생(B)에 미치는 영향

2005~2006년 2개년에 걸쳐 인삼 모잘록병과 잿빛곰팡이병에 대한 방제효과를 전남 해남군 산이면 포장에서 조사하였다. 모잘록병에 대한 본 미생물제의 방제 효과는 2005년과 2006년 모두 80% 이상의 높은 방제효과를 보여 주었는데, 이는 유기합성농약인 토로스분제처리와 비슷하였다(표 3-27, 3-28). 한편 잿빛곰팡이병에 대한 미생물제의 효과는 2005년 70% 이상의 방제가를 보여 주었는데, 2006년

도에는 무처리구에서 병이 발생하지 않아 방제효과를 결정할 수 없었다(표 3-27).

표 3-27. 인삼 모잘록병과 잣빛곰팡이병에 대한 미생물제의 방제효과(2005년)

처리	모잘록병		잣빛곰팡이병	
	이병주율(%)	방제가(%)	이병주율(%)	방제가(%)
미생물제	4.9 a	82.3	5.2 a	72.8
살균제	7.3 b	76.7	10.3 b	85.8
무처리	27.7 c	-	19.1 b	-

\* 미생물제 = *streptomyces* sp. strain S-2, *Lysobacter enzymogenensis*, *Chromobacterium* sp. strain C-61 혼합 배양액

\* 살균제 = 토로스분제, 분의 처리

표 3-28. 인삼 모잘록병에 대한 미생물제의 방제효과(2006년)

처리별	이병주율(%)	방제가(%)
미생물제	9.8 a	82.1
살균제	10.7 a	80.4
무처리	54.7 b	-

\* 미생물제 = *Lysobacter enzymogenensis*, *Chromobacterium* sp. strain C-61의 혼합 배양액

\* 살균제 = 토로스분제, 분의 처리

#### 4. 결과 및 고찰

가. 전남지방에서 발생하는 주요 인삼 병의 종류 및 발생생태

한국식물병목록(2004년)에는 인삼에 발생하는 병으로 19종이 기재되어 있으나 이번 조사에서 전남지방에서는 지상부에 발생하는 병으로 점무늬병과 탄저병, 지하부 병으로 모잘록병, 잿빛곰팡이병, 뿌리썩음병(근부병), 뿌리혹선충 등이 문제시되고 있었다.

##### 1) 지상부 병의 종류 및 발생생태

2004년 전남 지방에서 점무늬병의 경우, 줄기에는 4~5월, 잎에는 6월 중순에 관찰되기 시작하였으며, 탄저병은 6월 초, 중순경 잎에 관찰되기 시작하였다. 두 병은 2005년과 2006년에도 비슷한 경향으로 발생하고 있었는데, 6월 하순이후 거의 모든 포장에서 동시에 발생되고 있었다. 따라서 이들 병의 효과적인 약제 방제를 위해서는 최소한 5월 하순내지 6월 초순부터 실시되어야겠다는 생각이 들었다.

유기 합성농약을 살포하지 않았을 경우에는 7월 중순 이후 탄저병과 점무늬병에 의해서 잎이 거의 남아 있지 않을 정도로 막대한 피해를 초래하고 있었다. 따라서 전남 지방 인삼재배가 모두는 이들 두 병을 방제하기 위해서 많은 유기 합성 농약을 살포하고 있었고, 특히 다른 병에 비하여 훨씬 더 많은 약제를 살포하고 있었다. 따라서 인삼의 친환경재배를 위해서는 무엇보다 이들 두 종류의 병을 방제할 수 있는 시스템이 확립되어야겠다는 생각을 갖게 되었다.

탄저병균은 병든 조직 내부에 분생자층으로 존재하다가 빗물에 터져서 다른 건전 잎으로 전반되는 것으로 알려져 있고, 점무늬병균은 4~5월 상처난 줄기에 침입, 증식하여 바람에 의해서 잎에 전반되는 것으로 알려져 있다. 그러나 이들 두 병원균은 포장에 방치되고 있는 죽은 줄기에서 무수히 증식하고 있다는 사실이 이번 조사를 통하여 밝혀졌다. 따라서 보다 합리적이고 효율적인 방제를 위해서는 이들 고사되어 죽은 줄기를 제거해 주는 것이 무엇보다 중요하겠다는 생각을 갖게 되었다. 또한 이들 두 병은 빗물이 들이치는 부분에 특이적으로 훨씬 더 많이 발생하고, 특히, 비가림 차광망 대신 일반 차광망을 사용하였을 경우에는 훨씬 더 많은 병이 발생하고 있었다. 따라서 비가림 차광망을 사용할 경우에는 훨씬 더 작은 횡수의 농



약살포에 의해서 병 방제가 가능하겠다는 생각이 들었다.

## 2) 지하부 병의 종류 및 발생생태

2004년 전남 지방에서 지하부 병으로 가장 큰 피해를 초래하고 있는 병은 잣빛곰팡이병으로 거의 모든 포장에서 발생하고 있었다. 저희 팀은 이 병원균이 포장에 방치되고 있는 고사된 줄기에서 무수히 증식하고 있다는 사실을 알고, 재배가 들에게 사멸된 줄기를 제거하라는 교육 및 홍보를 실시하였다. 그 결과인지는 아직 확실하지 않지만, 고사된 줄기를 제거 한 포장에서는 2005년과 2006년 모두 병이 크게 감소하였다.

모잘록병이 묘포와 본포에서 크게 발생하고 있었는데, 특히, 묘포의 경우 유기 합성농약을 살포하지 않고서는 묘 생산이 거의 불가능 할 정도로 피해가 심각하였다. 그 외에 뿌리썩음병(근부병), 뿌리혹선충, 역병 등이 발생하고 있었는데, 이 들 병은 전남 지방의 전체 포장에서 발생하는 것이 아니라 극히 일부 포장에서 부분적으로 발생하고 있었다.

## 3) 결 론

이번 조사를 통하여 전남 지방에서 인삼을 친환경적으로 재배하기 위해서는 탄저병, 점무늬병, 잣빛곰팡이병, 모잘록병에 대한 효율적 방제시스템을 확립하는 것이 필요하겠다는 결론을 얻었다.

## 나. 전남지방의 주요 인삼 병의 친환경적 방제 전략

### 1) 탄저병과 점무늬병의 친환경적 방제전략

탄저병균과 점무늬병균은 포장에 방치되고 있는 죽은 줄기에 무수히 분포하고 있었고, 이들의 제거는 병 발생을 상당히 줄일 수 있었다. 대부분의 인삼포장에서는 6,7월에 잡초를 제거하고 있었다. 따라서 잡초제거과정에서 발견되는 죽은 줄기는 큰 어려움 없이 제거시킬 수 있었다. 결론적으로 잡초제거와 동시에 죽은 줄기를 제거함으로써 두 병의 발생을 상당히 줄일 수 있다는 것을 제시한다. 아울러 월동전의 마른 식물체에도 무수한 병원균들이 분포하고 있을 것이다. 따라서 월동전 포장에 존재한

마른 식물체를 제거하는 것도 인삼 병의 방제에 상당한 효과를 줄 것으로 기대된다.

탄저병균은 병든 조직 속에 분생자층으로 존재하다가 빗물에 떨어져 다른 건진 잎으로 전파되는 것으로 알려져 있다. 따라서 고추 탄저병의 경우 비가림재배를 함으로써 병 발생을 감소시킨다는 보고가 있고, 비닐하우스 재배에서는 병이 거의 발생하지 않은 것으로 알려져 있다. 인삼 탄저병의 경우에도 비가림차광판을 사용하였을 경우 병이 훨씬 더 적게 발생한다는 것을 알 수 있었다. 또한 전남 지방의 여러 포장을 비교해 보았을 경우, 비가림차광판을 사용하는 지역에서는 농약의 살포 횟수가 훨씬 더 적다는 사실도 알 수 있었다. 더욱이 바람에 의해서 전파되는 것으로 알려진 점무늬병의 발생도 비가림차광판을 사용하였을 경우 훨씬 더 적게 발생하고, 동일 이랑내에서도 빗물이 들이치지 않는 부분에서 병이 훨씬 더 적게 발생하는 것을 관찰 수 있었다. 이들은 인삼의 친환경재배를 위해서는 반드시 비가림차광판을 사용해야 된다는 것을 암시한다. 비가림차광판은 기존의 차광망에 비하여 약 2배 정도 더 비싸다. 그러나 한번 설치해 놓으면 6년 동안 사용할 수 있고, 또한 훨씬 더 적은 횟수의 농약 살포에 의해서 병을 방제할 수 있기 때문에 전체적인 측면에서는 오히려 더 경제적인 가능성이 크다.

본 연구에서는 비가림차광판이 설치된 포장에서 고사된 식물체를 제거하였을 경우 4회의 유기합성 농약(아족시스트로빈 액상수화제) 처리에 의하여 탄저병과 점무늬병을 완전 방제함을 보여 주었다. 일반 인삼재배지에서는 전술한 두 종류의 병을 방제하기 위해서 년 10회 이상 살포하는 것으로 알려져 있다. 따라서 비가림차광판의 설치와 고사된 식물체의 제거는 두 가지 병해방제에 큰 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 개발된 미생물제도 4회 살포에 의해서 2005년 실험에서는 유기 합성농약과 비슷한 수준의 방제효과를 보여 주었지만, 2006년 실험에서는 유기 합성농약에 비하여 약간 낮았다. 이와 같은 현상이 일어난 원인에 대하여 단적으로 설명할 수 없지만, 2006년에 병 발생이 더 심하였기 때문인 것으로 판단되었다. 즉, 2006년에는 탄저병과 점무늬병이 더 심하게 발생하여 유기 합성농약과 미생물제간의 병 방제효과에 차이가 났을 것으로 생각하고 있다. 특히, 그 차이는 6월 장마 후 7월 중순의 병 발생에서 관찰되었다. 따라서 장마기에 미생물제를 한번 더 살포해주면, 유기합성 농약과 비슷한 수준의 방제효과가 얻어질 것으로 생각되었다.

본 미생물제는 오이, 토마토, 고추 등의 흰가루병에 우수한 방제효과를 보여

주어 현재 일반 농가에서 이용되고 있으며, 흰가루병의 경우에는 병 발생(흰가루)상황을 보아가면서 약제를 살포해도 늦지 않다. 즉, 흰가루병은 본 미생물제의 방제시기나 횟수 등이 결정되지 않았더라도 병 발생 상황을 관찰해가면서 활용할 수 있다. 그러나 인삼 탄저병과 점무늬병은 잎을 괴사시키기 때문에 병 발생 전에 살포하는 것이 필요하다. 따라서 이 들 병에 대해서는 보다 더 효과적인 방제시기나 횟수 등이 결정되어야 할 것이다. 인삼 탄저병과 동일 종의 병원균에 의해서 발생하는 고추 탄저병 (노지재배)의 경우 본 미생물제를 5일 간격 살포하였을 때 겨우 67%의 방제효과를 보여 주었다. 두 병간의 방제효과에서 크게 차이가 나는 것은 여러 요인이 있겠지만 비가림재배가 상당한 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 따라서 본 실험에서는 비가림차광관이 설치된 포장에서의 방제효과만 조사되었지만, 본 미생물제를 전 인삼포장에 적용하기 위해서는 일반 차광망이 설치된 포장에서의 효과적인 방제시기 및 횟수, 그리고 년도에 따른 방제 효과들을 더 조사하여 어떠한 조건에서도 완전한 방제효과를 보여 줄 수 있는 메뉴얼을 만들어야 될 것 같다.

현재까지의 결과들은 비가림차광관의 설치, 죽은 식물의 제거, 그리고 본 연구에서 개발된 미생물제의 살포에 의해서 탄저병과 점무늬병을 방제할 수 있다는 가능성을 보여 주었다. 보다 더 효과적이고 확실한 방제효과를 얻기 위해서 포장 조건에 따른 방제 지침서를 제작하여 미생물제와 함께 보급하는 것이 바람직할 것이다.

## 2) 모잘록병과 잿빛곰팡이병의 생물적 방제

모 잘록병의 경우 방제를 하지 않고서는 묘를 거의 생산할 수 없을 정도로 피해가 심하였지만, 본 연구에서 개발된 미생물제를 월동전과 월동 후 2회에 걸쳐 토양 관주하였을 경우에는 2005년과 2006년 2개년에 걸쳐 살균제의 처리에서와 비슷한 방제효과를 보여 주었다. 2007년도의 실험에서는 아직 무처리구에서 병이 발생 않아 결론을 내리지 못하였지만, 앞으로 일반 농가에서 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

잿빛곰팡이병의 경우에도 2005년도 실험에서 3회 처리에 의해서 우수한 방제효과를 보여 주었는데, 2006년도의 실험에서는 무처리구에서의 병 발생이 적어 방제효과를 알 수 없었다. 즉, 2006년도의 실험에서는 포장에 방치되고 있는 죽

은 줄기를 제거하고 월동전 마른 줄기를 제거함으로써 무처리구에서 병 발생이 거의 관찰되지 않았다.

앞으로 지속적인 실험이 이루어져야 되겠지만, 현재의 결과들로 미루어 볼 때 인삼 모잘록병과 잿빛곰팡이병의 친환경적 방제는 가능하겠다는 결론을 얻을 수 있었다. 또한 본 미생물제는 3개년에 걸쳐 고추 역병 방제에 우수한 방제효과를 보여 주었고, 마늘 흑색썩음균핵병에도 효과가 인정되었기 때문에 앞으로 더 다양한 토양병 방제에 활용될 수 있으리라 기대된다.

## 5. 결과요약

### 가. 전남지방에서 발생하는 주요 인삼 병의 종류 및 발생상태

전남지방의 인삼 재배 포장에서는 점무늬병, 탄저병, 모잘록병, 잿빛곰팡이병, 뿌리썩음병(근부병), 뿌리혹선충이 문제시되고 있었는데, 유기합성농약은 점무늬병, 탄저병, 모잘록병, 잿빛곰팡이병의 방제를 위해서 처리되고 있었다. 점무늬병과 탄저병은 6월 상, 중순부터 관찰되었고, 모잘록병은 4월 중순~5월 상순, 잿빛곰팡이병은 3월 하순부터 6월에 걸쳐 발생하고 있었다. 죽은 식물체는 모든 인삼재배포장에서 관찰되었는데, 여기에는 무수한 탄저병균, 점무늬병균, 잿빛곰팡이병균들이 분포하고 있었다. 따라서 이들 병원균들은 인삼생육기간의 주요한 전염원으로 생각되었다.

### 나. 인삼 탄저병과 점무늬병의 친환경적 방제전략

7월에 인삼재배포장에 방치되고 있는 죽은 식물체에는 무수한 탄저병균과 점무늬병균이 분포하고 있었다. 이 죽은 식물체를 제거함으로써 탄저병은 약 30%, 점무늬병은 약 25%의 방제효과를 보여 주었다. 한편, 비가림차광판을 설치하였을 경우에는 탄저병에 대하여 약 40%, 점무늬병에 대하여 약 25%의 방제효과를 나타냈으며, 약제 방제 횟수도 일반 차광망을 설치한 지역에서 보다 훨씬 더 작았다. 2005년도의 포장 실험에서 *Chromobacterium* sp. strain C-61과 *Lysobacter enzymogenensis* 의 혼합 배양액은 탄저병에 대하여 81.3%, 점무늬병에 대하여 84.7%의 방제효과를 보여 주었는데, 이것은 살균제의 처리에서와 비슷하였다.

2006년도의 실험에서도 혼합배양액의 방제효과가 인정되었지만, 살균제의 방제효과에는 미치지 못하였다. 이들 결과는 비가림차광판의 설치, 죽은 식물체의 제거, 미생물제의 처리에 의해서 탄저병과 점무늬병을 방제할 수 있다는 가능성을 보여준다.

다. 인삼 모잘록병과 잿빛곰팡이병의 생물적 방제

*Rhizoctonia solani* 와 *Pythium* sp.에 의한 모잘록병과 *Botrytis cinerea* 에 의한 잿빛곰팡이병은 인삼재배지에서 매우 중요한 병이다. PDA배지 위에서 *R. solani* 는 *Chromobacterium* sp. strain C-61과 *Lysobacter enzymogenensis*, *Pythium* sp.는 *Serratia plymuthica* 에 의해서 크게 억제되었고, *B. cinerea*는 세균주 모두에 의해서 크게 억제되었다. 포트 실험에서 *L. enzymogenensis* 와 *Chromobacterium* sp. strain C-61은 모잘록병을 크게 억제하였지만, *S. plymuthica*는 인삼의 출아 및 잎에 피해를 주었다. 2005년도의 포장 실험에서 *Chromobacterium* sp. strain C-61과 *Lysobacter enzymogenensis* 의 혼합 배양액은 모잘록병에 대하여 82.3%, 잿빛곰팡이병에 대하여 72.8%의 방제효과를 보여 주었는데, 이것은 살균제의 처리에서와 비슷하였다. 모잘록병의 경우에는 2006년에도 본 배양액에 의하여 좋은 방제효과가 얻어졌다. 이들 결과는 인삼 모잘록병과 잿빛곰팡이병을 환경친화적인 방법에 의해서 방제할 수 있다는 것을 제시한다.

## 제4장 연구목표 달성도 및 관련분야 기여도

### 제1절 연구목표 달성도

본 연구과제의 당초 연도별 연구목표에 대한 달성도는 아래의 표4-1에 요약하였으며 연구결과 중 AMF접종원 활용기술은 특허출원 완료하였다.

표 4-1. 연구목표와 달성도 요약

연도별 연구목표	연구내용 달성도	비고
(1년차) ○토착AMF수집분리, 밀도조사, 접종원증식 및 예정지 기주식물별 토양특성 변화 검토 ○접종원 접착물질 선발  ○전남지역 인삼포장 병해실태, 병균수집과 길항성검토  ○묘삼에 대한 접종원 처리	-전남지역 인삼포장의 AMF밀도 및 감염양상 파악과 접종원증식, 기주식물별 균근밀도 차이확인(100%) -접종원 부착효율과 묘삼근권에 무해한 접착물질(해조류추출물) 선발 -인삼재배 농가포장의 주요 병해발생소장 파악과 chitin분해미생물 3개 균주 분리선발(100%) -증식된 AMF접종원을 묘삼에 접종 후 생장 반응검토(100%)	
(2년차) ○AMF접종원 처리인삼 생육증진 효과 및 균근감염과 밀도변화 구명 ○AMF접종원 처리 인삼의 근권 환경개선 효과구명 ○인삼병해에 대한 생물적 방제 농가포장 실증연구	-균근처리 인삼의 생장촉진 효과 (36.5%) 확인 및 감염율과 AMF밀도제고 효과확인(100%) -외생균사와 glomalin등에 의한 근권환경 개선효과 확인(100%) -두 균주 혼합배양액이 인삼의 두 길항미생물 혼합배양액 처리로탄저병(81.3%),점무늬병(84.7%)방제효과 확인(100%)	
(3년차) ○AMF접종원 처리 인삼의 생육 증진효과와 세포형태 비교 ○AMF접종원처리에 따른 병저항성물질 발현구명 ○인삼병해 생물적 방제시스템 구축(농가실증 위주)	-3년근인삼의 생육증진(30.2%) 효과와 뿌리 중 단위세포크기 증대확인(100%) -AMF접종원 처리로 chitinase와 $\beta$ -1,3-glucanase활성증가 -비가립 차광망 설치로 점무늬병(25%)과 모잘록병(40%) 방제가가능하고, 두 chitin분해균주 혼합양액으로 모잘록병과 잿빛곰팡이병 시판약제와 동일수준 방제효과 확인(100%)	특허출원

#### ※대한민국 발명특허출원

1) “식물 병 방제활성을 갖는 길항미생물과 이들을 이용한 식물병 방제”를 2006년 1월 9일에 특허출원완료(출원번호:10-2006-0002418)

2) “인삼의 생산성향상을 위한 아버스클라균근균(AMF)접종원의 효과적 접종방법”을 2006년 8월 30일자로 특허출원 완료(출원번호:10-2006-0083011)

## 제2절 관련분야에 대한 기여도

본 연구과제의 연구수행 내용 중 AMF균근균 집중처리와 실제 전남지역 인삼 포장에서 주로 발생하는 병해를 대상으로 독농가 포장에서 실증실험을 수행하였던 관계로 이에 대한 효과를 확인시킨 바 있으며, 2004년 10월 22일 전남농업기술원에서 주관하는 인삼재배농업인을 대상으로하는 “전남 청정인삼 생산방안”을 주제로한 교육에 150명에게 교육하였다.

순천대학교 영농교육원의 2006년도 최고경영자과정생을 대상으로한 강의과정에서도 홍보한 바 있다.

또한 2007년에는 농림부에서 지방의 해당 교육기관에 위탁하여 실시하는 품목특화교육 과정에 “청정인삼반”을 개설하고 이론과 실습을 ‘07년 6월 25일과 7월 2일에 각각 5시간씩 본 연구결과와 관련된 교육이 계획되어 있다.

표 4-2.. 전라남도 2007년 대농업인 품목별 특화교육과정 중 인삼관련 교육내용(예정)

일정		교과목	교육방법			담당강사 (외부/내부)	연락처
주별	일별		강의	실습	견학		
3주차	1일차	전남지방 인삼포장의 병해충 발생특성과 생물적 방제전략	3			박서기 교수/내	750-3864 016-9484-1703
	6/25	인삼병해 생물적 방제 배지조성, 및 양액조제실습		2		박서기 교수/내	750-3864 016-9484-1703
	2일차	친환경농자재 종류와 이용	3			김길용 교수/내	062)530-2138 016-9609-2138
	6/26	선도농가 현장견학 실습 2			2	박병주 이사/외	해남군 2농가
4주차	1일차	Arbuscular균근균(AMF)의 활용기술	3			손보균 교수/내	011-9222-3292
	7/2	AMF 집중원 증식방법 실습		2		손보균 교수/내	011-9222-3292
	2일차	선도농가 현장견학 실습 3			2	박성배 조합장/외	011-1775-7894
	7/3	중국의 인삼재배동향과 대응방안	3			김득중 사장/외	중국 631-873-5700 016-453-5426

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 제1절 활용보급 계획

최근 소비자와 생산자에 구분없이 친환경농업에 관심이 높다. 이 것은 안전한 농산물의 수요가 늘어나기 때문이며, 농업생산물의 국제경쟁력 제고에도 꼭 필요하다.

이상과 같은 환경변화에 부응하기 위해서 본 연구과제 연구결과의 활용계획은 우선 해당 지역의 인삼농협을 통하여 보급시키도록 할 계획이다. 인삼에 대한 AMF접종원 활용기술은 이미 2006년 8월 30일자로 특허청에 특허출원을 마쳤고, 지금부터 4개월 후면 특허등록이 가능할 것으로 전망되기 때문에 그 만큼 설득력 있게 인삼경작자에게 접근할 수 있을 것으로 판단된다. 현시점에서 선진국의 상황을 감안하더라도 개발된 연구결과의 기업화 추진은 생산된 AMF접종원의 판매가 수월하지 않을 것으로 판단되고, 고품질의 AMF접종원 수요가 많지 않을 것이다.

우리가 계획하고 있는 개발기술의 활용보급 방안은 각기 농업인의 기존 시설 즉, 비닐하우스의 유휴공간을 활용하여 Pot재배법으로 토착 AMF접종원을 자가 증식하여 사용하도록 그 증식기술을 중점적으로 보급하는 것이다.

이와 같은 증식과정에서 농업인이 해결할 수 없는 증식과장 중 번식체의 밀도 변화나 4-5개월 후의 최종적인 AMF번식체의 밀도확인은 이에 필요한 정밀기기들을 구비한 해당지역 농업연구기관이나 대학의 실험실 등에서 해결할 수 있을 것이다.

한편 인삼포장에서 문제를 유발하고 있는 주요 병해(모잘록병, 갯뫓곰팡이병, 탄저병 및 점무늬병 등)들은 본연구결과에서 확인하고 농가포장에서 실증한 바와 같이 일반 합성농약제와 비슷한 수준으로 병해 방제가 가능하였다. 따라서 앞서 기술한 AMF접종원 활용보급 방안과 같은 추진체계로 우선 보급할 계획이다. 2007년 5월에도 해남과 나주지역의 인삼경작농가의 포장에 본 연구결과로 얻어진 균주의 혼합배양액을 살포하고 있으며, 계속적으로 방제효과를 모니터링할 것



이며 본 연구과제를 수행하는 과정에서 조사된 인삼재배 포장의 병해방제에 관한 관리실태를 감안하고 우리가 얻은 시험결과를 토대로 “인삼병해 생물적 방제 기술”의 지침서를 작성하여 배포할 계획이다.

## 제 7 장 참고문헌

Abbott L.K. & Robson A.D., 1984. The effect of VA mycorrhizae on plant growth. In:VA mycorrhiza. Ed by:CL Powell & DJ Baagayaraj. CRC Press. Boca Raton. pp. 113~130.

Azcon-Aguilar, C., and J.M. Barea. 1992. Interactions between mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms, InMycorrhiza Functioning(ed. M. F. Allen). Dhapmen and H, London, Uk pp.163~198.

Blal, B. 1999. Utilization of commercial arbuscular mycorrhizal fungi inoculants in ornamental and Woody plants in nursery Acta Horticulturae 496 : 461~470.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem. 72 : 248~254.

Budi. S.W., C. Cordier, A. Trouvelot, Vivienne, G. pearson and S. Gianinazzi. 1998. Arbuscular mycorrhiza as a way of promoting sustainable growth of micropropagated plants Acta Horticulturae 457 : 71~78.

Chamber, C.A., Smith, S.E., and Smith, F.A. 1980. Effects of ammonium and nitrate ions on mycorrhizal infection, nodulation and growth of *Trifolium subterraneum*, New Phytol. 85, 47.

Degens, B.P., Sparling, G.P., and Abbott, L.K. 1996. Increasing the length of hyphae in a sandy soil increases the amount of water-stable aggregates. Appl. Soil Ecol. 3 : 149~159.

Dorit Zeuske and Hans Christian Weber, 2000. Growth Stimulation of Panax ginseng C.A. Meyer(Araliaceae) Arising from AMF-Isolate Inoculation. Symbiosis, 29 : 213~230.

Douds, D.D, G. nagahashi, P.E. Pfeffer, C. Reider and W.M. Kayser, 2006. On-farm production of AM fungus inoculum in mixtures of compost and vermiculite, Bioresource Technology, 97 : 809-818

Fraser Whitbread, Terry P. McGonigle, and R. Larry Peterson. 1996. Vesicular-arbuscular mycorrhizal associations of American ginseng (*Panax quinquefolius*) in commercial production. Can. J. Bot. 74 : 1104~1112.

Gallaud I, 1905. Etudes sur les mycorrhizes endotrophes. Rev Gen Bot, 17 : 5~48, 66~83, 123~136, 223~239, 313~325, 425~433, 479~500.

Han, K. D., Shahidul Alam, Lee, T. S. and Lee, M. W. 2004. Ginseng Anthracnose Caused by *Colletotrichum dematium*. Plant Pathol. J. 20(3):196-199

Hetrick, B. A. 1986. Ecology of VA mycorrhizal fungi. In: VA Mycorrhiza (Powell, C.L., D.J. Bagyaraj, ed.). pp. 35~56. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Hooker, J. E., M. Jaizme-Veaga, and D. Atkinson. 1994. Bio control of plant pathogens using arbuscular mycorrhizal fungi. In Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable Agriculture and Natural Ecosystems (eds s. Gianinazzi and H.Schuepp). Birkhauser, Basel, Switzerland. pp.191~200.

Jaizme-Vega, M. C and Diaz-Perez, M. P. 1999. Effect of *Glomus intraradices* on *Phoenix roebelenii* during the nursery stage Acta Horticulturae 486 : 19

9~202.

Jasper, D. A., Robson, A. D. and Abbott, L. K. 1979. Phosphorus and the formation of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Soil Biology and Biochemistry* 11 : 501~505.

Jastrow, J. D., Miller, R. M., and Lussenhop, J. 1998. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biol. Biochem.* 30 : 905~916.

Kuwada, K., T. Ishii, I. Matsushita, I. Matsumoto and K. Kadoya. 1999. Effects of seaweed extracts on hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and their infectivity on trifoliolate orange roots. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 68(2): 321~326

Li, T.S.C. 1995. Effect of Vesicular-arbuscular mycorrhizae on the growth of American Ginseng. *Korean J. Ginseng* 19(1) : 73~76.

Mark Brundrett, Larry Peterson, Lewis Melville, Heather Addy, Terry McGonigle, George Schaffer, Neale Bougher, Hugues Massicotte. 1994. *Practical methods in mycorrhiza research.* mycologue Publication. pp161.

McGonigle, T.P., J.P. Hovius, and R.L. Peterson. 1999. Arbuscular mycorrhizae of american ginseng(*Panax quinquefolius*) in cultivated field plots: plant age affects the development of a colonization lag phase. *Can. J. Bot.* 77 : 1028~1034.

McNaughton, S.J. and Oostenheld, M. 1990. Extramatrical mycorrhizal abundance and grass nutrition in a tropical grazing ecosystem, the Serengeti National Park, Tanzania. *Oikos*, 59 : 92~96.

Miller R.M. and Jastrow J.D., G.J. Bethlenfalvay and R.G. Linderman. 1992. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. Mycorrhizae in Sustainable Agriculture, ASA Special Publication Number 54, Am. Soc. Agron., WI. 29~44.

Phillips, J.M. and D.S. Hayman. 1970. Improved Procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Translocations of the British Mycological Society. pp. 55 : 158~160.

Ratnayake, R.T., Leonard, R.T. and Menge, J.A. 1978. Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhizal infection. New Phytologist 81 : 543~552.

Schenck, N.C. and Yvonne Perez. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi, 3rd edition. Gainesville, florida, USA.

Smith F. A., Smith S. E., 1996. Mutualism and parasitism : Diversity in function and structure in the "arbuscular"(VA) mycorrhizal Symbiosis. Adv Bot Res, 22 : 1~43.

Smith F. A., Smith S. E., 1997. Tansley Review No.96. Strural diversity in (vesicular) arbuscular mycorrhizal symbioses. New Phytol, 137 : 373~388.

Smith S.E. and Read D.J., 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London, pp.605.

T.P. McGonigle, J.P. Hovius, and R.L. Peterson, 1999. Arbuscular mycorrhizae of American ginseng(*Panax quinquefolius*) in cultivated field plots : Plant age

affects the development of a colonization lag phase, *Can.J. Bot.* 77 : 1028~1034.

Tennant D. 1975. A test of a modified line intersection method of measuring root length. *Journal of Ecology* . 63 : 995~1001.

Tisdall, J. M. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. *Aust. J. Soil Res.* 29 : 729~743.

Tisdall, J. M. and Oades, J. M. 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Australian Journal of Soil Research.* 17 : 429~441.

Tisdall, J. M., A. D. Robson, L. K. Abbott and N. Malajczuk, 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry* . Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 115~121.

Weber, H. C., S. Alexander and S. Imhof. 1998. The enrichment of ginseng garden soils with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, In : *Ginseng in Europe, Proceedings of 1st Europe Ginseng Congress*, (eds., Weber, H.C., Zeuske D. & S. Imhof.), Marburg, Germany.

Whitbread F, McGonigle T. P., Peterson R. L., 1996. Vesicular-arbuscular mycorrhizal associations of American ginseng (*Panax quinquefolius*) in commercial production. *Can J Bot*, 74 : 1104~1112.

Wright, S. F, and Upadhyaya. A. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyhal protein from arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 161 : 575~585.

Wright, S. F., J. B. Morton, and J. E. Sworobuk. 1987. Identification of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus by using monoclonal antibodies in an enzyme-linked immunosorbent assay. *Appl. Environ. Microbiol.* 53 : 2222~2225.

Wright, S.F, and Upadhyaya. A. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyhal protein from arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 161 : 575~585.

Wright, S.F, and Upadhyaya. A. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoproteins produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil Sci.* 198 : 97~107.

Wright, S.F., M. Franke-Snyder, J.B. Morton, and A. Upadhyaya. 1996. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. *Plant and Soil* 181:193-203.

Yoram Kapulnik, David D. Douds,Jr., 2000. *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function.* Kluwer Academic Publishers.

Zeuske D. and Weber H. C. 2000. Growth stimulation of *Panax ginseng* C.A. Meyer (Araliaceae) arising from AMF-isolate inoculation. *Symbiosis* 29(3) : 213~230.

김득중. 2000. 인삼재배. 우리기획.

김동기, 이순구, 이영근, 이종팔, 정기채. 2004. *Serratia liquefaciens*에 의한 인삼 뿌리썩음병. *식물병연구* 10(1): 8-12

김성일, 이민웅. 1994. 근권미생물과 토양병방제 (유용길항균이 인삼근부병원균에

미치는 영향). *The Korean Journal of Mycology* 22(1): 50-61

박규진, 백중운. 1999. 인삼 뿌리썩음병의 생물학적 방제 연구. 인삼연구보고서(재배분야), pp 163-207. 한국인삼연초연구원.

박규진, 오승환, 유연현, 조대휘, 이윤환. 1998. 인삼 뿌리썩음병의 생물학적방제 연구. 인삼연구보고서(재배분야), pp 170-206

류충민, 이상필. 2005. 병원균에 대한 식물의 인식, 방어기작 및 신호전달. 한국과학기술정보연구원.

유연현, 백중운, 조대휘, 목성균. 2001. 근부관련 인삼 연작장애 해소 실용화및 병해충 방제 연구. 인삼연구보고서(재배분야) pp 17-91. 한국인삼연초연구원

유연현, 백중운, 조대휘. 2000. 근부관련 인삼 연작장애 해소 실용화 및 병해충 방제연구. 인삼연구보고서(재배분야) pp 148-161. 한국인삼연초연구원.

孫寶均, 許祥萬, 金吉龍. 1994. 딸기 苗 初期生育에 미치는 VA菌根菌의 接種效果. 韓土肥誌 27(1) : 54~63.

孫寶均, 許祥萬, 金吉龍. 1994. 딸기 苗 初期生育에 미치는 VA菌根菌의 接種效果. 韓土肥誌 27(1) : 54~63.

손보균, 김홍림, 김영주. 2003. 조미채소 재배지의 토양 화학성에 따른 균근균 분포특성에 관한 연구. 한국토양비료학회지 36(3) : 145~153.

손보균. 2000. 원예작물 생산성향상을 위한 Arbuscular균근균 선발 및 접종 이용 기술 개발에 관한 연구. 농림기수개발사업 최종보고서. pp.295. 농림부.

정연규. 2000. 작물영양학 개요. 정문사. 168~170.



정영륜, 김홍진, 오승환, 박규진. 1984. 인삼 근부병 억제토양 및 유발토양의 근권환경 비교. 한국식물보호학회지 23: 142-146

정영륜, 김홍진, 오승환, 이일호. 1983. 인삼 근부병 억제토양과 유발토양의 특성. 한국 식물보호학회지 22: 203-207

정후섭, 배효원, 1979. 인삼탄저병에 관한 연구-전염원 병원균의 생태 및 방제. 한국식물보호 학회지 18(1): 31-41

조대휘, 박규진, 유연현, 오승환, 이호자, 1995 *Cylindrocarpon destructans*(Zinssm). Scholten에 의한 연작지 2년근 인삼의 근부병 발생특성. 고려인삼학회지19 (2) 175-180

조대휘, 안일평, 유연현, 오승환, 이호자, 1995, 배양기간, 온도, pH가 인삼 근부병균 *Cylindrocarpon destructans* (Zinssm) Schol ten의 균사생육에 미치는 영향. 고려인삼학회지 19(2):181-187

조대휘. 1996 인삼 근부병균 *Cylindrocarpon destructans* (Zinssm) Scholten의 생육특성. 경희대학교 대학원 박사학위 논문집 pp. 90

토양화학분석법. 1989. 농촌진흥청 농업기술연구소.