

인삼 재배 예정지의 Arbuscular 균근균(AMF) 번식체 밀도 향상

손보균 · 진서영 · 김홍림¹ · 조주식 · 이도진^{2*}

순천대학교 생명환경과학부, ¹농촌진흥청 남해출장소, ²순천대학교 농업교육과

Improvement of Arbuscular Mycorrhizal Fungi(AMF) Propagule at the Preplanting Field for Ginseng Cultivation

Bo-Kyoon Sohn, Seo-Young Jin, Hong-Lim Kim¹, Ju-Sik Cho, and Do-Jin Lee^{2*}

Division of Environmental and Agricultural Science, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

¹Namhae Sub-Station, National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea

²Department of Agricultural Education, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

This study was carried out to improve density of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) propagule and physiochemical properties of soil by planting crops at the preplanting field for ginseng cultivation. Winter crops, such as barley and rye and summer crops, such as sudangrass and soybean were cultivated in combination to improve AMF propagation and soil aggregation at the fields. Yield of harvested crops by plating with winter or/and summer crops was 3,045 kg 10a⁻¹ of the only rye cultivation, 2,757 kg 10a⁻¹ of sudangrass cultivation in combination with rye growing (rye/sudangrass) and 1,628 kg 10a⁻¹ of soybean cultivation in combination with barley growing (barley/soybean), respectively. Soil aggregation rate was improved by cultivation with barley (45.7%) and with rye/sudangrass (45.1%), respectively. The density of AMF spores in soil was increased slowly by cultivating with winter crops. In summer crops cultivation system, density of AMF spores at sudangrass cultivated field was 64.0 spores g⁻¹ dried soil and it was higher than that at soybean cultivated field. External hyphae length (EHL) was 1.5~2.0 m g⁻¹ air-dried soil at winter crops cultivated field. However, in summer crops cultivation systems, EHL was 2.6~2.9 m g⁻¹ air-dried soil at sudangrass cultivated field and was 1.7~2.2 m g⁻¹ air-dried soil at soybean cultivated field, showing these were higher than those in non-cultivated field (control). Glomalin content of soil cultivated with crops was higher than that of control soil. Especially, the highest glomalin content was shown to 1.7 mg g⁻¹ air-dried soil in the barley/soybean cultivation systems. These results suggested that the most effective soil management to improve AMF propagule density and soil physical properties by planting crops system was cultivating sudangrass followed by barley at the preplanting fields for ginseng cultivation.

Key words: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), Propagule, Ginseng, Summer and winter crop, Preplanting field

서 언

최근 인삼의 주산지인 알려진 기존 재배지역에서 다른 지역으로 옮겨가는 신규 재배가 행해지고 있으나 인삼은 재배특성상 생육이 느리고 노동집약적인 관리를 해야 하며 속효성비료나 화학비료의 시용이 제한적일 뿐만 아니라 동일한 장소에서 다년간 생육, 관리되기 때문에 근권 관리에 상당한 전문성이 요구된다 (Kim, 2000).

특히 산삼이 자라는 환경과 유사한 여건을 조성하기 위해 재배에 맞는 토양을 미리 선정하여 활엽수의 낙엽과 같은 양질의 유기물을 투입하여 1-2년 동안 인삼의 생장에 알맞은 토양으로 개량한 뒤 묘삼을 이식, 관리하고 있다. 이와 같이 인삼재배지의 토양관리 중요성은 재배 농가의 경험과 인삼관련 재배지침(Kim, 2000)에서도 강조되고 있지만 재배지 토양의 선정과 토양조성 작업이 중요하며, 이를 위해 양질의 유기질 성분 투입과 토양 물리성 개선을 위한 통기성 개선 방안이 요구된다. 인삼재배지 토양의 물리적 환경을 개선하는데 토성이나 배수성과 같은 기존의 입지환경 조성 외에도 토양입단의 안정성 개선과 유기질 비료

접수 : 2008. 5. 1 수리 : 2008. 6. 8

*연락처 : Phone: +82617503354,

E-mail: djlee@suncheon.ac.kr

를 중요시하는 재배관리 특성상 토양미생물의 역할과 혜택을 간과할 수 없다.

한편 근권 토양에 서식하며 토양물리성에 영향을 미칠 수 있는 여러 생물체는 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 기주식물에 제공한다. 그 중 기주식물의 뿌리에 감염되어 기주식물의 생육에 유익한 영향을 미치는 토양미생물인 Arbuscular 균근균(AMF)이 알려져 있으며(Kapulnik and Douds, 2000), AMF 균사에 의해 생산되는 Glomalin이 토양입자와 유기물질을 서로 결합시켜 토양을 안정화시키는 역할이 보고되어 있다(Hooker et al., 1994; Azcon-Aguilar and Barea, 1994; Wright et al., 1996). 또한 인삼재배에 AMF 이용에 대한 연구(Zeuske and Weber, 2000)나 AMF 접종 연구(Li, 1995) 등과 같이 인삼과 AMF 간의 협생관계가 보고되면서 생육이 더디고 다년간 집약적 관리로 재배되는 인삼 재배 특성상 AMF 활용 잠재력이 클 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 토착 AMF 번식체의 밀도를 제고하기 위해 인삼재배 예정지 관리 단계에서 AMF 기주식물의 효과적인 작부체계 방안에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

작부체계 내용 기주식물 재배 유형에 따른 AMF 포자밀도의 경시적인 변화를 파악하고자 토심이 깊고 배수가 양호한 지점을 선정(순천대학교 부속농장 밭포장)한 다음, 대조구(Control I, Control II)와 겨울작물 / 여름작물로 기주식물의 작부방식을 달리하여 겨울작물인 보리나 호밀 및 여름작물인 수단그라스나 콩을 이어짓기로 재배하였다.

녹비작물 생산 토양의 유기물 함량을 높이기 위해 여름작물을 파종하기 전에 겨울작물을 2~3cm 정도로 절단하여 토양에 혼입한 뒤 경운하였다.

토양의 물리화학적 특성 토양의 화학적 특성은 수소이온농도(pH), 토양유기물함량(O.M), 유효인산

(Av-P₂O₅), 총질소(T-N), 치환성염기(K, Ca, Na, Mg), 염기치환용량(CEC)을 토양화학 분석법(RDA, 1989)에 준하여 분석하였다. pH는 초자전극법, 토양유기물함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 총질소는 Kjeldahl 증류법, 치환성염기를 측정하기 위해서 1N-NH₄OAc 용액으로 침출시켜 ICP(Optima 3300DV, Perkin-Elmer, U.S.A)를 이용하여 분석하였다. 또한 미량원소(Fe, Mn, Zn)는 풍건한 시료 5 g을 100 mL 삼각플라스크에 넣고 DTPA법으로 침출시킨 후 No.2 여지로 여과하여 ICP(Optima 3300DV, Perkin-Elmer, U.S.A)로 분석하였다.

토양의 물리적 특성인 내수성 입단화율은 입단 분석기(DIK 700, Kiya Seisakusho, Japan)를 이용하여 수중 사별법으로 분석하였다. 즉 2.0, 1.0, 0.5, 0.25, 0.1 mm의 체로 구성된 체 꾸러미 상단에 자연토양 10 g을 넣고 10분간 정치하여 팽윤시킨 다음 수중에서 30분간 상하운동 시켰다. 상하운동이 끝나면 체 꾸러미를 105°C 열풍건조기에서 7~8시간 건조 후 체 눈금별로 평량하여 입단크기별로 백분율(%) 표시하였다.

AMF 밀도 변화와 감염율 기주식물의 재배 유형에 따른 처리내용(Table 1)과 같이 대조구와 재배작물별 토양 중 AMF 포자밀도 및 감염양상을 조사하였다. 포자 분리는 습식 사별법(Daniels and Skipper, 1982)으로 토양내의 포자를 분리하여 4°C에 보관하면서 실체 현미경(Zeiss, Stemi 200-C, Germany)하에서 계수하였으며, AMF의 크기별 분포조사를 위해 각 지역별로 대표지점에서 채취한 토양시료를 1차 사별 후 체 크기(500µm, 354µm, 250µm, 106µm, 45µm)별로 분획하고 실체 현미경하에서 계수하여 포자밀도를 조사하였다. AMF 감염율 조사는 Phillips and Hayman(1970)의 방법에 따라 formalin acetic acid(FAA)용액에 저장한 인삼뿌리를 약 1cm 길이로 자른 후 10% KOH 용액으로 90°C에서 뿌리의 생태에 따라 20~30분간 처리하여 증류수로 3~4회 행구어낸 다음, 0.1% chlorazol black E 염색액(Brundurtt et al., 1994)으로 염색하고 50% glycerol로 탈색하였다. 감염율 및 감염특성은 McGonigle et al.(1999)의 방법으로 염색한 뿌리절편을 AMF의 감염구조인 수지상체(arbuscule), 낭상체(vesicle), 균사(hyphae)에 대해 현미경(Olympus, PM-20, Japan)하에서 관찰하여 5 mm 내의 감염구조

Table 1. Cropping system by winter and summer crops at the experimental fields.

Plot	Winter crop	Summer crop	Remarks
Control I	Control I	Control	Plowing only
Control II	Control II	Soybean or sudangrass	Sow a field with summer crops after plowing
Barley	Barley	Soybean or sudangrass	Heading stage/sowing of summer crops after winter crops in compound with soil
Rye	Rye	Soybean or sudangrass	Same as above

존재여부를 백분율로 나타내었다.

추출하였다(Wright et al., 1987; 1996).

AMF 외생균사(external hyphae) 추출 및 길이

Hyphae 추출은 Miller and Jastrow(1992)의 방법으로 생토 5 g에 증류수 250 mL과 분산제(Calgon) 31 ml 넣고 30분간 방치한 후 1분 동안 교반한 다음 일정 높이에서 12 mL 취하였다. 그리고 증류수 125 mL을 넣어 교반한 후 동일한 높이에서 5~30 mL 취하여 0.45 μm membrane filter로 여과한 다음 0.05% trypan blue 용액으로 염색하여 현미경(Olympus, PM-20, Japan)하에서 계수 후 환산하였다(Tennant, 1975; Abbott and Robson, 1984).

Glomalin 추출

토양입단 안정화 등에 관련되는 Glomalin을 대상 토양에서 추출하여 함량을 조사하기 위해 2 mm체를 통과한 풍건토양 1 g에 50 mM sodium citrate를 넣고 멸균(121°C, 60~90분)한 다음, 원심분리(5000xg, 15분)하여 단백질이 담겨있는 상등액을 모아 4°C 조건에 보관하였다(Wright et al., 1996; Wright and Upadhyaya, 1996; 1998). Bovine serum albumin(BSA)을 이용하여 표준곡선을 도출하고 phosphate buffer saline(PBS)와 시료량을 200 μl 가 되게 하였다. Bio-Rad protein dye 50 μl를 넣고 5분 후 결과를 측정하여 BSA의 표준곡선을 이용해 함량을 환산하였다(Bradford, 1976; Wright et al., 1996). Bradford 분석으로 계산된 농도를 고려하여 ELISA(32B11 antibody)를 이용한 정량분석을 통하여

결과 및 고찰

녹비작물 생산량

인삼재배 예정지의 작부체계 유형에 따른 녹비작물 생산량과 투입량은 Table 2 와 3 과 같다. 예정지의 녹비작물 재배 목적은 토양물리성 개선과 유기물 공급을 위하여 실시하였으며 일반 농가의 관리방법에 준하였다.

재배작물의 지상부와 지하부 전체 건물 생산량은 겨울작물의 호밀과 보리에서 각각 3,045 kg 10a⁻¹ 및 2,104 kg 10a⁻¹으로서 대조구(Control I, Control II)의 510 kg 10a⁻¹ 정도에 비해 4~6배 정도 높게 나타났다(Table 2). 겨울작물의 호밀과 여름작물의 수단그라스를 재배한 건물의 총량은 5,802kg 10a⁻¹, 여름작물의 콩을 재배한 건물의 총량은 4,605 kg 10a⁻¹이었다. 겨울작물의 보리를 재배한 뒤 후작으로 여름작물의 수단그라스를 재배한 건물 총량은 4,246 kg 10a⁻¹, 후작으로 콩을 재배한 건물 총량은 3,732 kg 10a⁻¹으로서 겨울작물/여름작물의 작부체계 유형에서는 호밀/수단그라스 > 보리/수단그라스 > 호밀/콩 > 보리/콩 재배구 순으로 많은 생산량을 보였다(Table 3).

이러한 결과는 토양의 물리·화학적에서도 설명되겠지만 토양의 유기물 함량과 토양의 입단 안정성을 높여줄 수 있을 것으로 예측되며 본 결과에서 유기물 투입량의 중요성을 고려한다면 겨울작물로는 보리보다 호밀 재배가 유리할 수 있으며, 여름작물로는 콩을

Table 2. Green manure yield of winter crops.

Treatments	Shoot dry weight	Root dry weight	Total
----- kg 10a ⁻¹ -----			
Control I	423.4	90.9	514.3
Control II	405.1	105.4	510.4
Barley	2,312.0	733.3	3,045.3
Rye	1,583.2	520.5	2,103.8

Table 3. Green manure yield of summer crops.

Treatments	Shoot dry weight	Root dry weight	Total	
----- kg 10a ⁻¹ -----				
Control I	854.52	297.46	1,151.98	
Control II	sudangrass	1,156.98	886.28	2,043.26
	soybean	1,319.98	74.95	1,394.93
Rye	sudangrass	1,721.59	1,035.17	2,756.76
	soybean	1,282.25	277.25	1,559.50
Barley	sudangrass	1,386.15	755.92	2,142.07
	soybean	1,293.66	334.66	1,628.32

재배하는 것보다 수단그라스를 재배하는 작부체계에서 유기물 투입량이 많은 것으로 확인되었다.

토양 입단화율 토양의 입단화는 작물생육에 필요한 지하환경에 지대한 영향을 미치는 통기성, 통수성과 밀접한 관계가 있으며 입단생성에 영향을 주는 요인은 토양의 물리화학적 특성과 함께 토양생물의 활동과 관련이 깊다. 토양의 입단화 정도를 표시하고자 할 때 내수성 입단을 측정하여 백분율로 환산하는데 이를 입단 크기별로 측정된 뒤 0.1 mm 이하부터 2 mm 이상까지 6 단계로 구분하여 Table 4에 나타내었다. 전체적인 입단화도 형성 경향으로서는 큰 차이를 보이지 않았으나 입단화율 기준(Hujiwara et al., 1996)으로 보는 입단직경 1 mm 전후의 백분율을 살펴보면 겨울작물의 호밀을 재배한 뒤 여름작물의 수

단그라스를 재배한 포장에서 45%로 가장 높았는 것으로 조사되었다. 전체적인 경향으로서 수단그라스 재배구는 37~45%, 콩 재배구는 26~35%의 입단화율을 나타내었다. 그 밖에도 대조구인 Control I 이 40%의 높은 입단화율을 나타내었는데 이는 자연상태로 유지시켜 토양의 교란이 없기 때문에 인위적인 토양 입단 파괴가 이루어지지 않은 점에 기인하는 것으로 판단된다.

토양의 화학적 특성 작부체계 유형에 따른 녹비작물 처리 후 토양의 화학적 특성에 대한 분석 결과는 Table 5와 6과 같다. 전반적으로 살펴 볼 때 큰 변화는 없었으나 기주작물을 체계적으로 재배함에 따라 대조구와 비교하였을 때 유효 인산이 다소 감소하는 경향을 보였다. 작물을 투입한 후의 유기물 함량은 3 g kg^{-1}

Table 4. Aggregate percentage of soil after summer crops cultivation.

Treatments	<0.1mm	0.1~0.25	0.25~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	2.0mm <	
----- % -----							
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

Table 5. Chemical properties of soil after winter crops cultivation.

Treatments	pH	O.M	T-N	P ₂ O ₅	Ex.-cations				CEC	Fe	Zn	Mn
					K	Ca	Mg	Na				
		g kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----			
Control I	5.8	30.3	0.18	263.20	0.53	2.62	0.58	0.20	10.3	19.77	9.45	19.45
Control II	5.9	31.5	0.19	264.41	0.56	2.35	0.56	0.25	10.4	20.90	8.35	21.52
Rye	5.7	30.3	0.17	250.90	0.59	2.52	0.61	0.23	10.4	17.58	5.98	18.10
Barley	5.8	33.1	0.17	253.43	0.58	2.57	0.63	0.28	10.71	20.15	8.17	16.38

Table 6. Chemical properties of soil after winter crop followed by summer crop cultivation.

Treatments	pH	O.M	T-N	Av-P ₂ O ₅	Ex.-cations				CEC	Fe	Zn	Mn	
					K	Ca	Mg	Na					
		g kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----				
Control I	5.8	31.4	0.18	263.71	0.55	2.59	0.53	0.22	10.24	22.45	5.75	15.80	
Control II	sudangrass	5.7	28.6	0.19	258.28	0.52	2.30	0.60	0.17	10.97	27.85	8.70	30.00
	soybean	5.8	30.0	0.21	221.73	0.49	2.45	0.58	0.22	11.06	27.85	8.20	24.45
Rye	sudangrass	5.9	32.1	0.20	246.06	0.50	2.51	0.43	0.20	11.52	16.85	3.81	18.05
	soybean	6.0	31.6	0.18	236.87	0.51	2.72	0.52	0.22	11.77	20.00	4.89	15.85
Barley	sudangrass	5.8	35.0	0.19	236.28	0.53	2.65	0.58	0.19	12.10	21.95	6.25	17.00
	soybean	5.5	34.1	0.19	249.79	0.55	2.69	0.53	0.29	11.28	27.55	7.35	21.70

수준으로서 처리구마다 큰 차이를 보이지 않았다.

AMF 포자 밀도와 균근균 감염율 작부체계 유형에 따른 AMF 밀도의 경시적인 변화를 파악하고자 기주작물 재배 유형별 AMF 포자밀도 변화를 조사하였다(Fig. 1 과 2) 겨울작물 재배 후의 포자밀도 변화를 살펴보면 생육초기에서부터 4월 16일 조사 시까지는 대조구와 작물 재배 포장간의 포자밀도 차이가 거의 나타나지 않았으나 1개월 후의 조사 결과에서는 대조구와 보리를 재배한 포장 간에 포자밀도 차이를 보였다.

작부체계에 따른 기주식물별 생육후기 건토 1 g당 AMF 포자밀도는 보리 재배구에서 10개, 호밀 재배구에서 6개로 조사되어 보리가 가장 많은 AMF 포자밀도를 보였다. 여름작물은 콩 재배구와는 다르게 9월 21일 조사 시 수단그라스 재배구의 포자밀도가 증가되어 콩 재배구 보다는 수단그라스 재배구가 더 많은 포자밀도를 나타냈으며, 그 중 보리를 재배했던 포장의 수단그라스 재배구가 건토 1 g당 64개로 가장 높은 포자밀도를 보였다(Fig. 3). 이상의 결과를 종합하여 볼 때, 겨울작물로는 보리를 재배하고 이어서 여름작물의 수단그라스를 재배하는 작부체계가 AMF 포자밀도의 증가에 효과적인 것으로 나타났다.

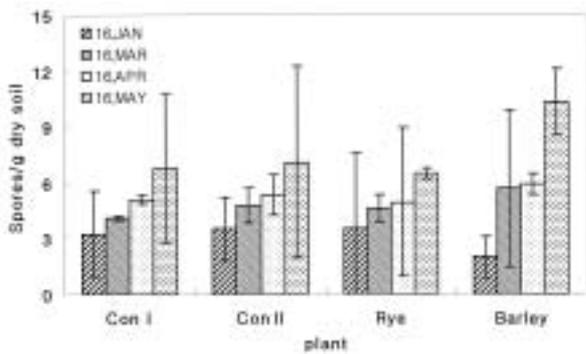


Fig. 1. Changes of AMF spore density at soil during the growing stage of winter crops (vertical line is standard error).

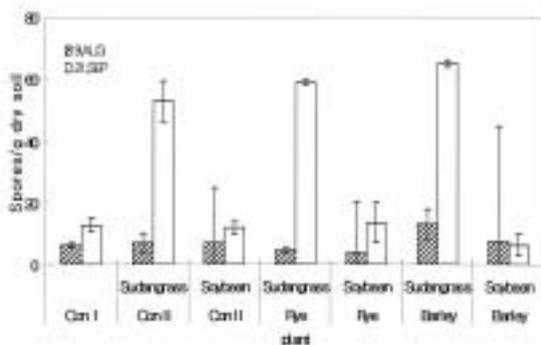


Fig. 2. Change of AMF spore density at soil during the growing stage of summer crops (vertical line is standard error).

한편 Fig. 3에 나타난 대조구를 포함한 기주작물에 의한 작부체계 유형에 따른 평균 감염율은 40~70% 범위에 있었으며, 특히 겨울작물로 수단그라스를 재배한 포장에서 높은 감염율을 보였다. 그리고 감염율을 나타내는 주요 감염구조는 뿌리의 내부균사(internal hyphae)임이 확인 되었으며 작부체계 처리 유형에 따른 감염율에는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

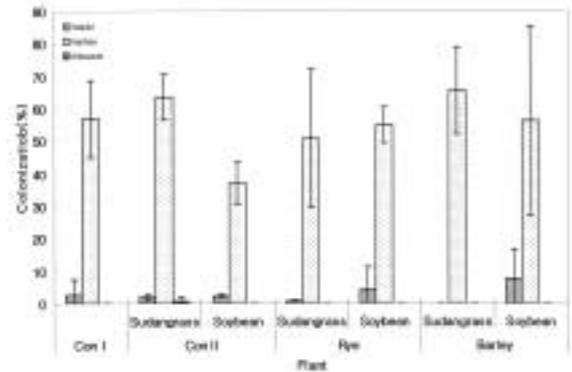


Fig. 3. AMF colonization rate in the root of summer crops (vertical line is standard error).

AMF 외생균사(external hyphae) 길이 작부체계 유형에 따른 기주작물의 재배 토양별 건토 1 g당 외부균사 길이를 Table 7과 8에 나타내었다. 겨울작물의 호밀과 보리를 재배한 포장의 외부균사 길이는 건토 1 g당 1.5~2.0 m 범위였으며, 대조구(1.5 m g⁻¹)보다 호밀(2.096 m g⁻¹)이나 보리(2.071 m g⁻¹)를 재배한 포장에서 높게 나타났었다(Table 7). 겨울작물 재배 후 여름작물을 재배한 포장 또한 수단그라스 재배구에서 건토 1 g당 2.6~2.9 m, 콩 재배구에서 건토 1 g당 1.7~2.2 m 수준으로 대조구에 비해 높게 나타났고, 콩을 재배한 포장보다는 수단그라스를 재배한 포장에서 건토 1 g당 0.9 m 정도 긴 것으로 확인되었다. 특히, 겨울작물의 보리를 재배한 다음 여름작물의 수단그라스(2.9 m g⁻¹)나 콩(2.2 m g⁻¹)을 재배하는 작부체계 유형에서 높게 나타났다.

Table 7. Length of AMF external hyphae in the soil after winter crop cultivation.

Treatments	Hyphae length m dry soil g ⁻¹
Control I	1.514
Control II	1.535
Rye	2.096
Barley	2.071

Table 8. Length of AMF external hyphae in the soil after summer crops cultivation.

Plot		Hyphae length
		m dry soil g ⁻¹
Control I		1.128
Control II	sudangrass	2.639
	soybean	1.722
Rye	sudangrass	2.710
	soybean	1.850
Barley	sudangrass	2.935
	soybean	2.203

토양 중 Glomalin 함량 토양 중의 Glomalin을 ELISA를 이용하여 정량 분석한 결과에서 전체적인 수준은 건토 1 g당 0.57~1.67 mg 범위를 보였으며, 대조구의 Control I 보다는 작물을 재배하는 경우의 포장에서 Glomalin 함량이 높은 것으로 확인되었다 (Fig. 4). 특히, 겨울작물인 보리를 재배한 후 이어서 여름작물의 콩을 재배하는 작부체계에서 건토 1 g당 1.67 mg 수준으로 가장 높은 함량을 보임으로서 입단 안정화를 위해서는 겨울작물/여름작물의 보리/콩의 작부체계 작물이 우수한 것으로 나타났다. Glomalin은 토양 탄소를 저장하며 탄소가 대기 중으로 유실되는 것을 방지하고 식물의 흡수 이용이 도움을 주며 AMF 균사에 의해 생성되는 물질로 알려져 있을 (Wright and Upadhyaya, 1996) 뿐만 아니라 AMF 균사에 빠르게 축적되어 토양의 물리성 즉, 입단화 안정에 영향을 주는 물질로 보고되어 있다(Degens et al., 1996; Jastrow et al., 1998; Tisdall, 1991).

요 약

대학 부속농장의 밭 토양을 선정하여 토양 중 AMF 밀도 향상과 토양 물리성 개선을 위하여 기주 작물로서 겨울작물인 보리와 호밀, 여름작물인 수단그라스와 콩을 재배하는 작부체계 유형별로 AMF 밀도 변화와 토양특성을 조사하였다. 재배작물의 생산량은 겨울작물 중 호밀을 재배한 포장 (3,045.3 kg 10a⁻¹)이 가장 높았으며, 호밀 재배 후 여름작물 중 수단그라스를 재배한 포장 (2,756.8 kg 10a⁻¹)과 보리를 재배한 후 콩을 재배한 포장 (1,628.3 kg 10a⁻¹) 순으로 건물 생산량을 보였다. 유기물 함량에서는 큰 변화는 인정되지 않았으나 입단화율은 보리를 재배한 포장이 45.7%, 호밀을 재배한 후 수단그라스를 재배한 포장에서 45.1%로 높아졌다. 포자밀도는 겨울작물을 재배한 포장이 전체적으로 증가하는 경향을 보였고, 여름작물은 수단그라스를 재배한 포장에서 건토 1 g당 64개로 콩을 재배한 포장보다 증가하였다. AMF

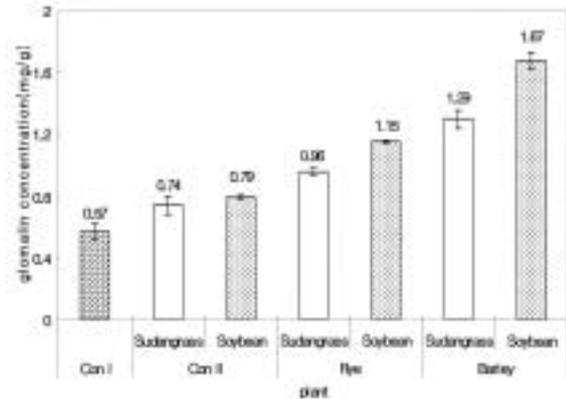


Fig. 4. Glomalin contents in the soil after harvesting of summer crops (vertical line is standard error).

외생균사 길이는 겨울작물이 건토 1 g당 1.5~2.0 m 수준이었으며, 여름작물은 수단그라스를 재배한 포장이 건토 1 g당 2.6~2.9 m, 콩을 재배한 포장이 건토 1 g당 1.7~2.2 m 수준으로 대조구보다 높게 나타났다. 토양 중 Glomalin 함량은 작물을 재배한 포장이 대조구보다 높은 함량을 나타내었다. 그 중에서도 보리를 재배한 후 이어 콩을 재배한 포장에서 건토 1 g당 1.7 mg로 가장 높게 나타났다. 이상의 결과에서 인삼 재배 예정지의 토양관리를 위한 작부체계는 겨울작물의 보리를 재배한 다음 여름작물의 수단그라스를 재배하는 유형이 AMF 포자밀도 향상과 토양 물리성 개선에 효과적인 것으로 밝혀졌다.

사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

Abbott, L.K., and A.D. Robson. 1984. The effect of VA mycorrhizae on plant growth. In:VA mycorrhiza(eds. C.L. Powell & D.J. Baagayraj). CRC Press. Boca Raton. p. 113-130.

Azcon-Aguilar, C., J.M. Barea, 1994. Interactions between Mycorrhizal Fungi and Other Rhizosphere Microorganisms. In: Allen, M.A.(Ed.), Mycorrhizal Functioning: An Integrative Plant-fungus Process. Chapman and Hall, London, p. 163-198.

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

Brundrett, M., R.L. Peterson, L. Melville, H. Addy, T.P. McGonigle, G. Schaffer, N. Bougher, H. Massicotte. 1994. Practical methods in mycorrhiza research. mycologue Publication. p. 161.

Daniels, B.A. and H.A. Skipper. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. Pages 29-35 In N. C. Schenck, editor. methods and principles of mycorrhizal

- research. American Phytopathological Society, St. Paul, Minn.
- Degens, B.P., G.P. Sparling, and L.K. Abbott. 1996. Increasing the length of hyphae in a sandy soil increases the amount of water-stable aggregates. *Appl. Soil Ecol.* 3:149-159.
- Hooker, J.E., M. Jaizme-Veaga, and D. Atkinson. 1994. Biocontrol 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. p. 191-200.
- Hujiwara, S., T. Anzai, and T. Kato. 1996. Method of soil diagnosis and its utilization. p. 255.
- Jastrow, J.D., R.M. Miller, and J. Lussenhop. 1998. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biol. Biochem.* 30:905-916.
- Kapulnik, Y., and D.D. Douds, Jr. 2000. Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Kluwer Academic Publishers. pp.372.
- Kim D. J. 2000. Ginseng cultivation. Woori publication. pp. 219.
- Li, T.S.C. 1995. Effect of Vesicular-arbuscular mycorrhizae on the growth of American Ginseng. *Korean J. Ginseng* 19:73-76.
- 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.
- Miller, R.M., and J.D. Jastrow. 1992. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation, pp. 29-44. In : G.J. Bethlenfalvay and R.G. Linderman (eds.), *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture*. ASA Special Publication No. 54, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- 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. *Transactions of the British Mycological Society.* 55:158-160.
- Rural Development Administration. 1989. Method of soil chemical analysis. RDA, Suwon, Korea.
- Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersection method of measuring root length. *J. of Ecol.* 63:995-1001.
- Tisdall, J.M. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. *Aust. J. Soil Res.* 29:729-743.
- 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., 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.
- Wright, S.F., and A. Upadhyaya. 1996. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyal protein from arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 161:575-585.
- Wright, S.F., and A. Upadhyaya. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoproteins produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198:97-107.
- Zeuske, D., and H.C. Weber. 2000. Growth stimulation of *Panax ginseng* C.A. Meyer (Araliaceae) arising from AMF-isolate inoculation. *Symbiosis* 29:213-230.