

작물재배 환경이 Arbuscular 내생균근 균의 상대밀도와 작물체의 인(P) 함량에 미치는 영향

이국한 · 안승원* · 이창홍 · 이인봉 · 채수천 · 김혜영 · 김영철

공주대학교 산업과학대학 원예학과

(2012년 4월 17일 접수; 2012년 4월 24일 수정; 2012년 5월 18일 채택)

Effects of Cultivation Environment on Phosphorus Content in Crops and Relative Density of Arbuscular Mycorrhizal Fungi

Kook-Han Lee, Seoung-Won Ann*, Chang-Hong Lee, In-Bong Lee,
Soo-cheon Chae, Hye-Young Kim, Young-Chil Kim

Department of Horticultural, College of Industrial Science, Kongju National University, Chungnam 340-802, Korea

(Manuscript received 17 April, 2012; revised 24 April, 2012; accepted 18 May, 2012)

Abstract

Available phosphorus(P_2O_5) in conventionally cultivated soil was more abundant in two fold than that of organically cultivated soil. Relative density of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) was higher in organically cultivated soil. That of welsh onion cultivated soil was the highest, that of strawberry was followed and then that of pepper, respectively. Relative density of AMF was inversely proportioned to available soil phosphorus. Phosphorus content of crop and relative density of AMF were more abundant in organically cultivated crop or soil. However available soil phosphorus content was much in conventionally cultivated soil. The phosphorus contents between soil and crop were negatively correlated. The phosphorus content of crop was increased as the relative density of AMF increased. Relative density of AMF in the organically cultivated soil and phosphorus content of the crop with organic cultivation were higher than those of conventionally cultivated.

Key Words : conventional cultivation, organic cultivation, AMF (Arbuscular Mycorrhizal Fungi)

1. 서론

토양생태계는 각종 미생물과 식물의 뿌리 및 기타 소동물들의 다양한 생물과 유기적인 관계를 공유하며 서식하고 있다(조와 김, 1999). 식물체의 근권은 많은 토양 미생물들의 공생적 또는 길항적 작용, 그리고 토양생태계의 균형 있는 성장과 서식지 역할을 한다. 특

히 곰팡이와 식물뿌리간의 공생체를 의미하는 균근(Mycorrhizae; Lewis, 1973)의 경우 토양 중의 유기물 질과 무기물질을 식물체에 공급하여 식물의 생육을 촉진시키며 근권의 수분관계를 조절하고(Allen과 Christensen, 1980), 병원균에 대한 조절기능을 한다(Trappe, 1977).

Trappe(1982)에 의하면 유관속식물의 뿌리 약 95%는 균근의 공생적 연합에 관계하고 있으며, 그 중 대다수가 Arbuscular Mycorrhizal Fungi(AMF)와 공생한다. 우리나라에 자생하는 63종의 초본식물과 47종의 목본식물을 조사한 결과 AMF의 공생은 각각 70%와

*Corresponding author : Seoung-Won Ann, Department of Horticultural, College of Industrial Science, Kongju National University, Chungnam 340-802, Korea
Phone: +82-41-330-1224
E-mail: annsw@kongju.ac.kr

85%에 달하였으며, 자연계에 일반적으로 분포하고 있는 AMF는 공생식물로부터 유기양분을 공급받아 서식하며(Nicolson, 1967), 식물과의 양분교환은 세포의 원형질막을 통하여 이루어지고 있는 것으로 추정하고 있다(Cox와 Tinker, 1976). AMF의 특성으로 자연 상태에서 계절에 따른 포자생산은 식물이 대사를 중단하는 10월에 가장 많았다. 외부의 환경스트레스에 대한 연구는 염분농도에 따른 AMF의 감염도와 포자증식의 상호 관련성이 조사되었다(Wilson, 1983). 작물에 대한 AMF의 공생식물을 조사한 결과, 배추를 제외한 고추, 참깨, 수수, 강낭콩 등의 식물에서 AMF 포자증식이 관찰되었으며, 이러한 공생관계를 통해서 식물은 토양에서 이동성이 낮은 인산 등 무기영양소의 흡수를 도움 받는다(Gianinazzi-Pearson과 Gianinazzi, 1983; Hayman, 1983; Brady, 1984; Bearden, 2001; Bianciotto와 Bonfante, 2002).

인산은 식물의 Adenosine nucleotide와 Nucleic acids 등을 구성하는 필수 원소로서, 인이 결핍될 경우 세포분열, 세포확장, 광합성, 호흡 등을 제한하며, 질소 등 양분의 흡수를 저해한다(Fredeen과 Terry, 1989). 즉, 인이 결핍된 조건에서는 식물생장이 저해되는 현상을 보이고, 심한 경우에는 노엽이 고사하게 된다(Moyhuddin, 1990). 현재 일반농경지에서는 화학농약, 제초제의 다량살포 등으로 AMF의 감소와, 화학비료의 과다시비 등으로 불용화된 인산농도가 매우 높아져 작물생육에 해를 초래하는 경우도 많이 볼 수 있다.

그러나 일반적으로 구분되고 있는 유기농업(화학농약, 화학비료 등을 사용하지 않고 환경친화적 농자재를 사용하는 농업; 유기농재배, Organic cultivation)과 관행농업(화학농약, 화학비료, 제초제 등을 사용하는 농업; 관행재배, Conventional cultivation)에 대하여 AMF를 비교 검토한 연구는 거의 찾아볼 수 없다.

본 연구는 관행농업과 유기농업에 따른 작물재배 환경의 차이가, AMF의 서식밀도와 작물체의 인(P) 함량에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 실험은 관행재배지(Conventional cultivation)와 유기농재배지(Organic cultivation)로 구분하여 시행

하였다. 조사는 대파(Welsh onion; *Allium fistulosum* L.), 고추(Hot pepper; *Capsicum annum* L.), 딸기(Strawberry; *Fragaria* spp.)의 3작물을 택하여, 자연 상태에서 계절적으로 AMF의 포자생산이 가장 많은 2006년 10월에 채취하였다. 관행재배지와 유기농재배지 각각 3작물체의 포장을 대상으로 토양의 유효인산(Av. P_2O_5) 함량, AMF의 포자상대밀도, 작물체의 인(P) 함량에 대하여 상호관련성을 조사하였다.

토양의 이화학적 특성에 대하여 대파, 고추, 딸기의 관행재배지 및 유기농재배지 6포장을 대상으로 작물체의 근권 토양을 채취하였다. 토양의 채취방법은 작물체의 뿌리 가까이 있는 표토 0~15 cm 깊이와 너비 30 cm 이내에서 시험포장별 3반복으로 채취한 후, Polyethylene bag에 포장하여 공시시료로 사용하였다.

토양시료의 이화학적 분석은 음건하여 토양화학분석법(농촌진흥청, 2010)에 따라 토양산도(pH)는 유리전극법, 토양유기물(OM)은 Tyurin법, 전기전도도(EC)는 EC meter 측정법으로 측정하였으며, 유효인산(Av. P_2O_5)은 Lancaster법으로 분광광도계(Model U-2000, Hitachi)를 이용하여 분석하였고, 치환성양이온(EX)은 1N NH_4OAc (pH=7.0)로 침출하여 여과 후 원자흡광분광광도계(AA100, Perkin Elmer model)를 이용하여 분석하였다. 토양의 모든 실험은 3반복으로 분석하였다.

AMF의 포자 추출은 토양 Density gradient centrifuge 방법(Ohum, 1957)을 이용하였다. 이는 Sugared water 혹은 Tap water에 흙을 넣어 메스실린더를 사용하여 흙과 포자의 비중차를 이용하여 포자를 추출하는 방법이다. 토양시료는 생중량 4 g을 정량하여 Tap water를 이용, Sieve의 mesh별(600, 45 μm) 토양과 포자를 분리하고 50 % Sugared water에 현탁하여 원심분리(2,000 rpm, 10 min)를 한 후, Sieve mesh 크기(300, 90, 45 μm)별 순서로 AMF 포자를 선별하였다. 본 실험은 AMF 포자 크기에 해당하는 Sieve mesh 45 μm 에 남은 포자만 추출하여, 8 cm 지름의 Petri dish에 담아 광학현미경(100배)으로 포자의 여부를 관찰한 후, Video Microscope로 AMF 포자수를 조사하였다. AMF의 서식 상태를 각각의 재배포장별 비교검토하기 위해, 6개 포장 중에 AMF 포자수가 최대치를 나타

내는 대파 유기농재배지를 100 %로 하여 상대서식밀도(%)를 구하였다.

작물체의 인(P) 함량 분석은 상기 6개 포장에 대상으로, AMF의 포자조사 시기와 동일한 2006년 10월에 작물체별 3반복으로 채취하여, 식물체분석법(농촌진흥청, 2010)에 따라 작물체를 Dry oven에서 70 °C로 72시간 동안 건조 후 분쇄하여 Vanadate법으로 원자흡광분광광도계(AA100, Perkin Elmer model)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양의 이화학적 특성

대파, 고추, 딸기의 3작물체를 대상으로 관행재배지 및 유기농재배지 근권 토양(표토 0~15 cm 깊이)의 이화학적 특성을 조사하였다.

대파작물체의 경우 관행재배지와 유기농재배지의 토양산도(pH)는 각각 7.1, 6.6으로 관행재배지가 다소 높았으며, 유기물함량(OM)은 각각 17, 19 g/kg⁻¹으로 유기농재배지가 다소 높았으나, 두 재배지 모두 농촌진흥청에서 권장하는 시설하우스 작물재배 적정기준(이하, 적정기준으로 표기; 20~35 g/kg⁻¹)보다 낮은 수준이었다(Table 1). 유효인산(Av. P₂O₅)은 각각 646, 237 mg/kg⁻¹으로 관행재배지가 2배 이상 높았

며, 유기농재배지는 적정기준(350~500 mg/kg⁻¹)보다 2배 정도 낮았다. 치환성양이온(EX)의 칼슘(Ca)과 마그네슘(Mg)은 유기농재배지가 높고, 적정기준(Ca; 0.70~0.80 cmol/kg⁻¹, Mg; 1.5~2.5 cmol/kg⁻¹)보다 2~2.5배 정도 높았으나, 칼륨(K)은 적정기준(0.70~0.80 cmol/kg⁻¹)에 비하여 2배 정도 낮았다. 전기전도도(EC)는 관행재배지와 유기농재배지 각각 1.44, 2.58 ds/m로 유기농재배지가 2배 정도 높았다.

고추의 관행재배지와 유기농재배지 토양의 pH는 5.7과 6.7로 유기농재배지가 다소 높았으며, 유기물함량은 각각 25, 10 g/kg⁻¹로 관행재배지가 2.5배 높고, 유기농재배지는 적정기준보다 낮았다(Table 2). 유효인산은 각각 921, 121 mg/kg⁻¹으로 관행재배지가 7배 높았고 적정기준보다 2배 이상 높았으며, 유기농재배지는 적정기준에 비하여 3배 낮았다. 치환성양이온의 Ca과 Mg은 유기농재배지가 높고 적정기준보다 2배~2.5배 정도 높았으며, K은 5배 정도 낮았다. 전기전도도는 각각 1.90, 0.75 ds/m로 유기농재배지가 낮았으며 적정기준보다도 2.5배 정도 낮았다.

딸기의 관행재배지와 유기농재배지 토양의 pH는 6.4, 6.1로 적정기준을 유지하고 있으며, 유기물함량은 각각 27, 29 g/kg⁻¹로 유기농재배지가 다소 높고, 두 재배지 모두 적정기준에 적합하였다(Table 3). 유효인

Table 1. Chemical properties of the welsh onion cultivated soils with conventional and organic cultivation methods

	pH (1:5)	OM (g/kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg ⁻¹)	EX.(cmol/kg ⁻¹)			EC (ds/m)
				Ca	K	Mg	
Conventional	7.1	17	646	7.7	1.31	1.9	1.44
Organic	6.6	19	237	16.7	0.33	6.4	2.58
Standard	6.0~7.0	20~35	350~500	5.0~7.0	0.7~0.8	1.5~2.5	1.25~2.5

Standard = Im(RDA, 1999) of plastic film house soils.

Table 2. Chemical properties of the hot pepper cultivated soils with conventional and organic cultivation methods

	pH (1:5)	OM (g/kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg ⁻¹)	EX.(cmol/kg ⁻¹)			EC (ds/m)
				Ca	K	Mg	
Conventional	5.7	25	921	10.9	1.29	3.5	1.90
Organic	6.7	10	121	19.5	0.17	6.1	0.75
Standard	6.0~7.0	20~35	350~500	5.0~7.0	0.7~0.8	1.5~2.5	1.25~2.5

Standard = Im(RDA, 1999) of plastic film house soils.

산은 각각 1,321, 732 mg/kg⁻¹으로 관행재배지가 2배 높았으며, 적정기준보다 관행재배지는 3배 이상, 유기농재배지는 2배 이상 높았다. 치환성양이온의 Ca과 K은 관행재배지가 높았으며, K은 적정기준보다 6배 정도 높게 나왔다. Mg은 유기농재배지가 적정기준보다 3.5배 정도 높게 나왔으며, 전기전도도는 각각 8.74, 1.41 ds/m로 관행재배지가 높았고 적정기준보다도 4.5배 정도 높았다.

3.2. Arbuscular Mycorrhizal Fungi(AMF)의 상대서식 밀도

대파, 고추, 딸기 3개 작물체의 관행재배지에 대한 포자의 평균상대밀도는 40.1%로 유기농재배지의 평균상대밀도 64.9%에 비하여 24.8% 낮은 것으로 나타났다(Table 4).

관행재배지의 대파, 고추, 딸기의 작물체별 AMF 포자상대밀도는 각각 47.5, 29.7, 42.8 %로 대파 > 딸기 > 고추 순으로 포자상대밀도가 높았으며, 유기농재배지에서도 각각 100.0, 37.7, 56.9 %로 대파 > 딸

기 > 고추 순으로 관행재배지와 동일하였다. 작물체별 AMF의 포자상대밀도는 대파가 가장 높았으며, 상대적으로 고추가 낮았다. 그러나 관행재배지와 유기농재배지의 AMF 포자상대밀도는, 전작물체에서 유기농재배지가 높게 나타났다.

3.3. 토양의 유효인산(Av. P₂O₅) 함량과 AMF의 상대서식 밀도

관행재배지 토양의 유효인산(Av. P₂O₅)은 646~1,321 mg/kg⁻¹으로 적정기준(350~500 mg/kg⁻¹)보다 2배 이상 높았다(Table 5). 한편 유기농재배지의 대파와 고추 토양(딸기재배지 제외)의 유효인산은 각각 237, 121 mg/kg⁻¹으로 적정기준보다 1/2이하로 낮게 나타났다. 각 작물체별 관행재배지와 유기농재배지의 유효인산 차이는 관행재배지가 2배 이상 많았다(Table 5, Fig. 1). 그러나 토양의 인산을 가용화하여 식물에게 공급하는 AMF 포자의 상대밀도는 관행재배지에 비하여 유기농재배지가 24.8 % 높았다(Table 5).

Table 3. Chemical properties of the strawberry cultivated soils with conventional and organic cultivation methods

	pH (1:5)	OM (g/kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg ⁻¹)	EX.(cmol/kg ⁻¹)			EC (ds/m)
				Ca	K	Mg	
Conventional	6.4	27	1321	13.7	4.54	3.7	8.74
Organic	6.1	29	732	11.5	1.24	6.9	1.41
Standard	6.0~7.0	20~35	350~500	5.0~7.0	0.7~0.8	1.5~2.5	1.25~2.5

Standard = Im(RDA, 1999) of plastic film house soils.

Table 4. Relative density of arbuscular mycorrhizal fungi(AMF) in the welsh onion cultivated soils with conventional and organic cultivation methods

	Relative density of AMF (%)	
	Conventional	Organic
Welsh onion	47.5	100.0
Hot pepper	29.7	37.7
Strawberry	42.8	56.9
Average	40.1	64.9

Table 5. Content of available phosphorus(P₂O₅) and relative density in conventionally and organically cultivated soils

	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg ⁻¹)		Relative density of AMF (%)	
	Conventional	Organic	Conventional	Organic
Welsh onion	646	237	47.5	100.0
Hot pepper	921	121	29.7	37.7
Strawberry	1,321	732	42.8	56.9
Average	963	363	40.1	64.9

Standard of Av. P₂O₅ in soils = 350~500 mg/kg⁻¹

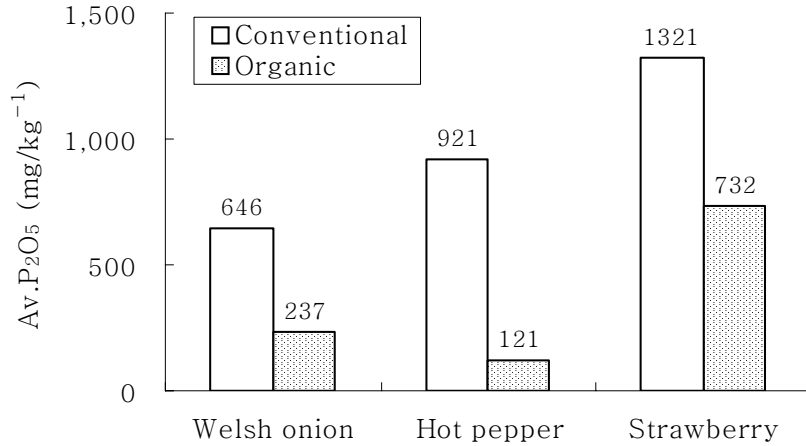


Fig. 1. Available phosphorus(P₂O₅) content of conventionally and organically cultivated soils.

3.4. 토양의 유효인산(Av. P₂O₅)과 작물체의 인(P) 함량

대파 작물체의 인(P) 함량은 유기농재배지에서 1.04 %로, 관행재배지의 0.52 %에 비하여 2배정도 많았다(Table 6). 그러나 토양의 유효인산(Av. P₂O₅) 함량은 관행재배지와 유기농재배지에서 각각 646, 237 mg/kg⁻¹으로 관행재배지가 2배 이상 높았으며, 유기농재배지는 적정기준(350~500 mg/kg⁻¹)보다 2배 정도 낮았다. 고추의 경우도 대파와 같은 경향을 나타냈다. 딸기 작물체의 인 함량은 유기농재배지와 관행재배지의 차이는 없었으나, 토양의 유효인산은 각각 732, 1,321 mg/kg⁻¹으로 관행재배지가 1.8배 높았으며, 적정기준(350~500 mg/kg⁻¹)보다 각각 2배 이상 많은 것으로 나타났다.

관행재배지 토양의 평균 유효인산함량은 963 mg/kg⁻¹으로 유기농재배지의 평균(363 mg/kg⁻¹)보다 2.6배 많

았으나, 각 작물체의 평균 인 함량은 관행재배지 0.60 %에 비하여 유기농재배지는 0.85 %로, 토양의 유효인산 함량과의 관련성은 부의 상관관계를 나타냈다. 토양에 유효인산함량이 많으면 이에 비례하여 작물체의 인 함량도 증가하는 것이 일반적으로 생각되나, 유기농재배지와 관행재배지와의 경우에는 반비례하였다.

3.5. AMF의 상대서식밀도가 작물체의 인(P) 함량에 미치는 영향

AMF의 평균 상대서식밀도는 관행재배지에서 40.1 %를 나타냈으나 유기농재배지에서는 64.9 %로 관행재배지에 비하여 24.8 % 높았으며, 작물체의 인 함량도 관행재배지(평균 0.60 %)에 비하여 유기농재배지(평균 0.85 %)가 0.25 % 많았다(Table 7). 즉, AMF의

Table 6. Content of available phosphorus(P₂O₅) in soils and P₂O₅ in crops cultivated with conventional and organic cultivation methods

	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg ⁻¹)		P ₂ O ₅ (% d/w)	
	Conventional	Organic	Conventional	Organic
Welsh onion	646	237	0.52	1.04
Hot pepper	921	121	0.37	0.61
Strawberry	1,321	732	0.91	0.90
Average	963	363	0.60	0.85

Standard of Av. P₂O₅ in soils = 350 ~ 500 mg/kg⁻¹

Table 7. Relative density of AMF in conventionally and organically cultivated soils and content of P₂O₅ in crops

	Relative density of AMF (%)		P ₂ O ₅ (% d/w)	
	Conventional	Organic	Conventional	Organic
Welsh onion	47.5	100.0	0.52	1.04
Hot pepper	29.7	37.7	0.37	0.61
Strawberry	42.8	56.9	0.91	0.90
Average	40.1	64.9	0.60	0.85

상대식밀도가 높으면 이에 비례하여 작물체의 인 함량도 상대적으로 많아지는 경향을 나타냈다.

이러한 결과는 3.3에서 고찰된, 토양의 유효인산 (Av. P₂O₅) 함량과 AMF 상대식밀도 간의 상호관련성은 반비례하는 것과 반대되는 내용이며, 3.4에서 고찰된, 작물체의 인 함량과 토양의 유효인산함량과의 관련성은 부의 상관관계를 나타내는 것과도 반대되는 결과이다.

토양과 작물체의 인 함량은 부의 상관관계를 가지며, AMF 상대식밀도가 높으면 이에 비례하여 작물체의 인 함량도 증가하는 경향을 나타냈다.

참 고 문 헌

- 농촌진흥청, 2010, 토양화학분석법, 13-144.
- 조인상, 김이열, 1999, 우리나라 농경지 관리 실태와 발전방향. 환경 친화형 농경지 고도 이용 기술, 농업과 학기술 학술회의, 농촌진흥청, 31-60.
- Allen, M. F., Christensen, M., 1980, Effects of VAM on water stress tolerance & hormone balance in nature western plant species, 1979 Final Report to Rocky Mountain Institute of Energy & Environment, 25.
- Bearden, B. N., 2001, Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and soil water characteristics of verti soils, *Plant Soil*, 229, 245-258.
- Bianciotto, V., Bonfante, P., 2002, Arbuscular mycorrhizal fungi: a specialised niche for rhizospheric and endocellular bacteria, *Antonie van Leeuwenhoek*, 81, 365-371.
- Brady, N. C., 1984, The nature and properties of soils, 9th (ed. Macmillan Publishing Co), New York, USA.
- Cox, G., Tinker, P. B., 1976, Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizal, I. The arbuscule and phosphorus transfer: a quantitative ultrastructural study, *New Phytol.*, 77, 371-378.
- Fredeen, A. L., Terry, N., 1989, Influence of phosphorus nutrition on and carbon partitioning in Glycin max, *Plant Physiol.*, 89, 225-230.
- Gianiazzi-Pearson, V., Gianimazzi, S., 1983, The physiology of vesicular and arbuscular mycorrhizal roots, *Plant soil*, 71, 197-209.
- Hayman, D. S., 1983, The physiology of vesicular-arbuscular endo mycorrhizal symbiosis, *Can. J. Bot.*, 61, 944-963.
- Lewis, D. H., 1973, Concepts in fungal nutrition and the of rgin of biotrophy, *Biol. Rev.*, 48, 976-980.
- Moyhuddin, M., 1990, Greenhouse vegetable production guide for commercial growers, Alberta Agriculture, Edmonton, Alberta, Canada.
- Nicolson, T. H., 1967, Vesicular-arbuscular mycorrhizal. Universal plant symbiosis, *Sci. Prog.*, Oxpord, 55, 561-581.
- Ohum, R. E., 1957, A flotation Method for collecting spores of a Phycomycetous mycorrhizal parasite from soil, *Phytopathology*, 47, 751-752.
- Trappe, J. M., 1977, Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nuseries, *Ann. Rev. Phytopathol.*, 15, 203-222.
- Trappe, J. M., 1982, Synoptic keys to the genera and species of Zygomycetes mycorrhizal fungi, *Phytopathol.*, 72, 1102-1109.
- Wilson, J. M., 1983, The identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi using immunofluorescence, *Soil. Biol., Biochem.*, 15, 439-445.