

화분과 및 두과 녹비작물 토양환원에 따른 토마토 생육 및 토양 양분수지량 변화

이인복* · 강석범 · 박진면

농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과
(2008년 11월 28일 접수, 2008년 12월 23일 수리)

Effect of Soil Incorporation of Gramineous and Leguminous Manures on Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Growth and Soil Nutrient Balances

In-Bog Lee*, Seok-Beom Kang, and Jin-Myeon Park (National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Suwon, 440-706, Korea)

ABSTRACT: To investigate the effects of incorporation of green manures (GM) into a sandy loam soil on growth, yield, and nutrient uptake of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and nutrient balances (input minus offtake of nutrients), five tomato production systems were compared under the condition of plastic film house: 1) a no input system (no additional amendment or inputs, 0-To-0-To); 2) a conventional system (application of N-P-K chemical fertilizers, Cf-To-Cf-To); 3) a leguminous GM-containing system (hairy vetch-tomato-soybean-tomato, Hv-To-Sb-To); 4) a graminaceous GM-containing system (rye-tomato-sudan grass-tomato, Ry-To-Sd-To); and 5) system mixed with leguminous and graminaceous GMs (rye-tomato-soybean-tomato, Ry-To-Sb-To). Here, hairy vetch and rye were cultivated as winter cover crops during late Dec~late Feb and soybean and sudan grass were cultivated as summer cover crops during late Jun~mid Aug. All of them cut before tomato planting and then incorporated into soil. Biomass of GMs was greater in summer season than that of winter season. Nitrogen amount fixed by a leguminous plants was about 126 kg ha⁻¹ per a cropping season, corresponding to 60% N level needed for tomato production, which was comparable to 50 and 96 kg ha⁻¹ fixed by rye and sudan grass. As a result, tomato yield of Hv-To-Sb-To system (legume GM treatment) was similar to Cf-To-Cf-To (conventional), but that in Ry-To-Sd-To system (graminaceous GM treatment) was not attained to a half level of conventional treatment. Nutrient budgets for N, P and K on the conventional farm were balanced or somewhat positive exception for minus-balanced K. Ry-To-Sd-To system showed a positive N, P and K budgets due to the depressed growth of tomato which is caused by high C/N ratio and low N-fixing capacity of the GMs. Inversely, those of Hv-To-Sb-To system were negative in all of N, P and K budgets because of increased growth and yield of tomato with high nitrogen-supplying capacity as well as low C/N ratio of leguminous GM. In conclusion, although conventional cultivation has an advantage in relation to N, P and K nutrient budgets rather than GM-incorporated systems, a leguminous GMs could be recommended as nitrogen reservoir and soil amendment because the yield of tomato between use of leguminous GM and conventional cultivation was not only significantly difference, but also GMs commonly reduce nutrient loss and improve microbial communities.

Key Words: Green manure, Organic farming, Cropping system, Nutrient budget

서 론

고소득을 목표로 하는 시설재배 작물은 최대 수량을 얻기

위하여 비교적 다량의 화학비료를 사용한다. 게다가 화학비료의 저렴한 가격, 취급의 편리함과 높은 양분 이용율은 녹비작물의 사용을 제한하는 큰 요소이기도 하다. 그러나 화학비료의 장기 연용은 토양 물리성과 생물성을 해칠 뿐 아니라 토양 환경의 질을 악화시키는 원인이 될 수 있다¹⁾. 그러한 측면에서 화학비료의 사용량을 줄이고, 토양비옥도를 높이는 동시에 채소의 품질을 향상 시킬 수 있는 대안 마련이 시급하다.

*연락처:

Tel: +82-31-290-6223 Fax: +82-31-290-6259

E-mail: inboglee@rda.go.kr

화학비료를 절감하고 토양특성을 개선시킬 수 있는 가장 좋은 수단은 녹비활용으로 판단된다. 두과 녹비의 최대 장점은 생물학적 과정을 통해 고정된 다량의 질소가 다음에 연이어 재배되는 작물의 양분으로 활용될 수 있다는 점이고, 화분과 녹비는 토양 생태계 내에 질소를 공급하는 효과는 미미하나 녹비작물에 의한 질소 흡수와 같은 부동화 과정을 통하여 질소를 보존하는 능력이 현저한 것으로 알려져 있다^{2,3)}.

한편 토마토는 수익성이 높아 우리나라 전역의 시설환경 하에서 연중 재배되나, 하우스 내에 온도환경이 열악한 여름 고온기와 추위로 인해 작물 생육이 부진한 겨울 동안 각각 2개월씩 작물을 재배하지 않는다. 이러한 휴한기 동안 활용 유망한 녹비를 선발하여 재배할 경우 후작물 토마토의 안정적인 생산과 더불어 녹비 토양 투입에 따른 비료 절감 및 토양 비옥도 증진을 동시에 해결할 수 있을 것으로 판단된다. Lee 등⁴⁾은 시설재배지 여름 녹비작물로서 콩과 수단그라스를 주목했다. 이들은 녹비 생산량과 양분 고정량이 많기 때문이다. 또한 Clark 등⁵⁾은 옥수수 생산에 활용하기 위한 동계 녹비작물로서 호밀과 헤어리베치가 유망하다고 주장 하였다. 호밀은 가을에서 봄에 이르기 까지 토양 내 잔류 질소를 근권 안에 머물게 함으로써 질소 용탈을 억제하고, 헤어리베치는 옥수수 재배에 요구되는 상당량의 질소를 공급해 줄 수 있기 때문이다.

이러한 주 작물과 녹비 작물을 조합하여 효율적인 작부체계를 개발하기 위해서는 양분순환과 무기물간 균형을 검토하는 것이 필요하다. 작물재배를 위해 공급되는 양분 투입량과 수확된 생산물에 의해 제거되는 흡수 양분량 간 양분 수지량을 정량화하는 것은 토양 양분을 효율적으로 관리하고, 토양 양분 순환을 이해하는데 중요한 요소이기 때문이다⁶⁾.

본 연구는 관행재배와 녹비 토양환원 방법 간 양분 수지량 변화 및 주작물인 토마토 생육과 생산성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였다. 그러한 목적을 위하여 겨울과 여름 휴한기 동안 두과 및 화분과 녹비를 조합하여 교호적으로 재배하였으며, 겨울 휴한기 동안 두과 및 화분과 녹비작물로서는 헤어리베치와 호밀을, 그리고 여름 휴한기 동안 두과

및 화분과 녹비작물로서는 콩과 수단그라스를 재배한 후 모든 녹비작물은 절단 후 토양에 환원하였으며, 녹비 투입에 따른 토마토 재배효과는 화학비료를 사용한 관행 재배와 비교하였다.

재료 및 방법

실험재료

시험에 사용된 하우스 토양의 pH는 7.2로서 중성에 가깝고, EC는 1.8 dS m^{-1} , 그리고 유효인산 함량은 527 mg kg^{-1} 이었으며(Table 1), 토성은 사양토였다. 여름 휴한기 동안 재배된 두과 녹비작물은 신팔달콩(*Glycine max* L.), 화분과 녹비작물은 수단그라스(*Sorghum bicolor* L.) 이었으며, 겨울 휴한기 동안 재배된 두과 녹비작물은 헤어리베치(*Vicia villosa* Roth), 화분과 작물은 호밀(*Secale cereale* L.) 이었다. 녹비 토양 환원 후 재배된 후작물은 '슈퍼도테라' 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill) 품종이었다.

재배방법

실험은 수원 소재 원예특작과학원 탑동 포장에서 수행되었다. 여름과 겨울의 휴한기 동안 재배된 녹비작물들과 주작물인 토마토 간 작부체계는 Table 2와 같다. 겨울철 휴한기 녹비재배를 위하여 겨울철 두과 녹비작물로서 헤어리베치 종자 100 kg ha^{-1} 과 화분과 녹비작물인 호밀 100 kg ha^{-1} 를 12월말에 포장 전체에 걸쳐 골고루 산파한 다음 각각의 녹비작물들은 2월 중순까지 재배 후 수확하고, 절단하여 토양에 환원하였다. 파종 후 60일된 봄 토마토 육묘는 익년 3월초에 처리구별 $3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 크기의 하우스 내에 $40 \text{ cm} \times 90 \text{ cm}$ 간격으로 정식하여 6월말까지 재배하였으며, 재배기간 동안 작물관수를 위하여 정식한 토마토 옆에 점적관수시설을 설치하고, 관수점은 텐시오미터를 사용하여 -20 kPa 토양수분장력 하에서 제어하였다. 여름 휴한기 녹비작물인 콩은 6월말에 200 kg ha^{-1} , 수단그라스는 100 kg ha^{-1} 비율로 포장 전체에 걸쳐 골고루 산파한 다음 8월 중순에 예취하여 5 cm

Table 1. Chemical properties used before this experiment

pH (H ₂ O, 1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cation(cmol kg ⁻¹)			NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)
				K	Ca	Mg	
7.2	0.9	19	327	0.13	4.7	1.1	21

Table 2. Details on the rotation included in the study on nutrient flows

Input materials	Rotation code	Winter season (late Dec~ late Feb)	Spring season (early Mar~ late Jun)	Summer season (late Jun~ mid Aug)	Autumn season (early Aug~ late Dec)	Chemical fertilizer (N-P-K kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)
No Fertilizer	0-To-0-To	-	Tomato	-	Tomato	0
NPK standard	Cf-To-Cf-To	Chem. fertilizer	Tomato	Chem. fertilizer	Tomato	408-90-202
Legume-Legume	Hv-To-Sb-To	Hairy vetch	Tomato	Soybean	Tomato	0
Graminaceous-Legume	Ry-To-Sb-To	Rye	Tomato	Soybean	Tomato	0
Graminaceous-Graminaceous	Ry-To-Sd-To	Rye	Tomato	Sudan grass	Tomato	0

길이로 절단 후 비가림 하우스 토양에 환원하였다. 가을재배는 파종후 60일된 토마토 묘목을 8월말에 정식하였으며, 토양관수는 봄 토마토 재배시와 동일하게 실시하였으며, 시험처리는 3반복 난괴법으로 배치하였다. 관행구에 사용한 3오소의 사용량은 연간 N-P-K를 기준으로 408-90-202 kg ha⁻¹ 비율(2 작기)로 RDA⁷⁾ 표준시비처리방법에 준하여 실시하였다.

분석 및 조사방법

토양 및 식물체 화학성은 RDA⁸⁾의 방법에 준하여 분석하였다. 토양 pH는 토양과 증류수의 비를 1:5로 혼합하여 진탕 후 pH meter (ORION Model 720A, USA)로 측정하였고, 토양 EC는 1:5법으로 침출한 다음 Conductance meter(YSI model 35, USA)로 조사하였다. 토양 유기물은 Tyurin법, KCl-추출성 질산이온은 Kjeldahl법으로 정량하였고, 유효인산은 Lancaster법, 그리고 치환성 K, Ca, Mg은 NH₄OAc (pH 7.0) 추출 후 Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy(ICP, GBC Integra XM2 model, Australia)로 분석하였다. 녹비작물 및 토마토 부위별 질소 함량은 황산분해 후 Kjeldahl법으로 결정하였다. 식물체 P와 K를 분석하기 위하여 Zhao 등⁹⁾의 방법에 따라 1g의 식물체에 25 ml 질산-과염소산 혼합산(85:15, v/v)을 가하고 60°C에서 3시간, 100°C에서 1시간, 120°C에서 1시간, 190°C에서 2시간 동안 분해하였다. 분해 후 20% HCl 5 ml를 가하고 80°C에서 30분간 가운 한 다음 증류수를 가하여 100 ml로 정용하여 인 함량은 Ammonium Vanadate법으로, 그리고 칼륨 함량은 ICP (GBC Integra XM2 model, Australia)로 정량하였다. 식물체 탄소함량은 Carter¹⁰⁾의 방법에 따라 회화로 (Dasol Scientific Co., DS-84E-1 model, Korea)를 이용하여 강열감량법으로 정량하였다.

토마토 정식 후 90일째 토마토의 초장 및 경경을 조사하였으며, 수확기에 토마토 생육량 및 식물체 질소, 인, 칼륨을 분석함으로써 녹비에 의해 투입된 양분량 대비 후작물 토마토에 의해 흡수된 양분을 제외함으로써 녹비처리별 양분 수지량을 계산하였다.

결과 및 고찰

녹비 수량 및 질소 고정량

겨울철 휴한기 동안의 재배된 두과 녹비작물인 헤어리베

치의 건중량은 3.4 Mg ha⁻¹, 화분과 녹비인 호밀은 3.7~3.8 Mg ha⁻¹로서 두과와 화분과 녹비 간 건중량의 현저한 차이가 없었으나, 여름철 녹비작물의 경우 두과작물인 콩의 4 Mg ha⁻¹에 비교하여 화분과작물인 수단그라스의 건중량은 8.7 Mg ha⁻¹로서 두과 작물과 화분과 작물 간에 큰 차이가 있었다(Table 3). 반면에 두과 녹비작물인 헤어리베치와 콩의 질소함량은 각각 37 g kg⁻¹과 32 g kg⁻¹로서, 화분과 녹비인 호밀과 수단그라스의 13 g kg⁻¹과 11 g kg⁻¹에 비해 현저히 높았다. 이와 같이 두과작물은 다량의 질소를 고정하여 후작물에게 효율적으로 질소를 공급할 수 있다는 점에서 두과 녹비작물을 작부체계에 도입하는 것은 효율적인 작물생산과 양분순환 측면에서 유리할 것으로 판단된다¹¹⁻¹⁴⁾. 한편 생산된 녹비의 건중량과 녹비의 양분함량으로부터 질소 고정량을 환산해 보면, 헤어리베치와 콩의 경우 토마토 재배에 요구되는 표준 질소량의 62%와 61%에 해당되는 각각 126 kg ha⁻¹과 125 kg ha⁻¹의 질소를 고정하여, 화분과 녹비인 호밀과 수단그라스에 의해 고정된 질소량인 50 kg ha⁻¹과 96 kg ha⁻¹과 비교할 때 현저히 높은 질소 고정능을 나타냈다. 본 실험에서 헤어리베치에 의해 고정된 126 kg ha⁻¹은 Kentucky의 옥수수 밭에서 고정된 질소량인 90~100 kg ha⁻¹에 비해 다소 높고¹⁵⁾, 콩에 의해 고정된 질소량 125 kg ha⁻¹은 Meert와 Morris¹⁶⁾가 수도재배용으로 재배했을 때 얻었던 질소 고정량인 192 kg ha⁻¹과 비교할 때 다소 낮은 결과이다. 이러한 실험들 간 녹비수량 및 양분 고정량의 차이는 토양특성, 재배환경, 재배품종 및 파종량과 같은 경종방법의 차이에서 기인하는 것으로 판단된다.

녹비 토양환원 후 토마토 생육반응

토마토의 초장은 녹비처리와 무관하게 가을 작기에 비해 봄 작기 동안 활발한 생육을 보였고, 경경은 역으로 봄 작기에 비해 가을 작기에서 현저한 증가를 나타내었다(Table 4). 그러한 초장과 경경의 차이는 계절적인 영향에 기인하는 것으로 판단된다. 즉, 봄 작형의 경우 재배가 진행될수록 온도가 상승하여 초장 발달을 조장한 반면, 가을 작형의 경우 온도가 저하됨으로서 지상부 생장은 억제되고 경경이 발달한 것으로 보인다. 녹비처리별 토마토의 초장 및 경경 변화를 살펴보면, 화분과 녹비에 비해 두과작물을 녹비로 활용 시 초장 및 경경은 증가하는 경향이였다. 후작물 토마토의 수량 또한 녹비작물 종류에 따라 현저한 차이를 보였다. 2작기 동안 녹

Table 3. Dry matter and mineral compositions of green manures cultivated during rest time of winter and summer seasons

Green manures (Winter-Summer)	Winter green manures				C/N ratio	Summer green manures				
	Biomass (Mg ha ⁻¹)	Nutrient content (g kg ⁻¹)				Biomass (Mg ha ⁻¹)	Nutrient content (g kg ⁻¹)			C/N ratio
		N	P	K			N	P	K	
Hairy vetch-Soybean	3.4	37	3.9	29	15.5	3.9	32	3.4	19	15.4
Rye-Soybean	3.7	14	3.8	31	56.2	4.1	30	3.3	18	16.4
Rye-Sudan grass	3.8	13	3.5	24	60.5	8.7	11	3.5	31	51.5

Table 4. Growth and yield characteristics of tomato cultivated in soil incorporated green manures

Rotation	Spring season					Autumn season				
	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	DM of plant parts (Mg ha ⁻¹)			Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	DM of plant parts (Mg ha ⁻¹)		
			Fruit	Stem+leaf	Sum			Fruit	Stem+leaf	Sum
0-To-0-To	206	8.6	1.8 b*	2.6	4.4	164	16.3	2.4 b*	4.2	6.6
Cf-To-Cf-To	237	9.5	3.4 a	5.9	9.3	173	17.2	4.7 a	6.2	10.9
Hv-To-Sb-To	233	10.0	3.5 a	5.8	9.3	160	16.7	4.5 a	4.7	9.2
Ry-To-Sb-To	226	9.7	1.8 b	3.2	5.0	166	16.8	4.3 a	5.6	9.9
Ry-To-Sd-To	205	8.7	1.3 b	2.6	3.9	143	13.2	1.8 b	1.1	2.9

* The same letter are not significantly different within a column at the 5% level as determined by DMRT.

비작물 토양환원 후, 후작물 토마토의 수량을 조사한 결과, 두과-두과 녹비작물 연속재배 시 9.0 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, 화분과-두과 녹비작물 교호 재배구에서는 6.1 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, 그리고 화분과-화분과 녹비 연속 재배구에서는 4.1 Mg ha⁻¹ yr⁻¹로서 화분과 작물에 비하여 두과작물을 녹비로 활용시 토마토 수량은 두 배 이상 증가하였다. Creamer 등¹⁷⁾의 결과와 유사하게 봄 작기와 가을 작기 구분 없이 두과작물을 녹비로 활용한 경우 관행구 수준의 토마토 과실 생산이 가능하였다. 이러한 결과는 화분과 녹비작물에 비해 두과녹비작물의 토양 내 질소공급 능력이 현저히 우수하기 때문이다¹⁸⁻²⁰⁾. 반면에 화분과 작물을 녹비로 활용한 경우에는 무비구 수준 이하로 토마토 수량이 감소하였다. 이는 작물 생육의 가장 큰 제한인자인 질소공급의 차이에서 기인하는 것으로 판단된다. 즉 화분과 녹비의 경우 두과작물에 비해 질소함량이 낮은 뿐 아니라 높은 C/N율(Table 2)로 인하여 녹비 토양환원 후 후작물 토마토의 질소 흡수를 현저하게 제한하였던 것으로 추정된다. 이러한 결과들과 관련하여 Wagger²¹⁾는 녹비의 C/N율이 낮고 셀룰로오스나 리그닌과 같은 난분해성 물질의 함량이 적을수록 질소공급능이 우수하다고 하였으며, 두과 및 화분과 녹비를 대상으로 8주간의 무기화 과정을 조사한 결과 셀룰로오스나 리그닌함량이 낮은 헤어리베치의 경우 75~80%의 질소가 분해된 반면 호밀의 경우 50%의 분해 수준에 머물렀다고 보고하였다. 또한 Clark²²⁾는 헤어리베치의 경우 봄철 예취시기와 무관하게 C/N율이 15 이하로서 토양 중 분해가 용이한 반면, 호밀의 경우 예취시기가 다소 지연되어도 급격하게 C/N율이 25 이상으로 증가하여 질소 부동화의 원인이 된다고 하여^{23,24)} 화분과 녹비작물의 연용은 후작물의

질소흡수를 현저히 억제하는 것으로 판단된다.

녹비 토양환원 후 토마토 부위별 양분함량

식물체 조직분석은 양분수지량 산정에 있어 필수적 과정일 뿐 아니라, 토양양분의 이용성을 판단하는 수단으로 유용하다²⁵⁾. 녹비작물의 토양 환원에 따른 토마토 부위별 무기질 양분함량을 봄 작기와 가을 작기 간 비교할 때, 대체로 질소, 인, 칼륨 함량 간 현저한 차이는 없는 경향이였다(Table 5). 한편 재배 작기와 무관하게 토양환원된 녹비 종류에 따라 토마토 부위별 질소 함량은 다소 차이가 있는 것으로 판단된다. 즉, 봄 작기와 가을 작기 중 과일과 줄기+엽에서의 질소 함량은 관행과 비교할 때 다소 낮았으나, 화분과 녹비에 비해 두과작물을 녹비로 활용했을 때 토마토 부위별 질소함량은 높은 경향을 보였으며, 이는 Lee 등⁴⁾의 결과와 유사하다. 반면에 토마토 부위별 인 함량은 질소가 충분히 흡수된 관행처리구 및 두과녹비 환원구에서 낮았던 반면, 상대적으로 질소 함량이 낮았던 화분과 및 무처리구에서 인의 함량은 높았다. 그러나 토마토의 칼륨 함량은 토마토 부위별, 그리고 녹비환원 처리별 특별한 경향이 없었다.

녹비작물 처리별 양분 수지량

여름철과 겨울철 휴한기 동안 재배한 녹비작물 토양환원에 따른 양분 투입량 대비, 후작물 토마토에 의해 흡수된 양분함량을 제외함으로써 계산된 토양 양분수지량 조사 결과는 Table 6과 같다. 녹비생산량은 두과작물에 비해 화분과 작물에서 높았으나 녹비작물중 질소함량은 두과작물에서 현저히 높아 두과작물 연속재배구의 질소투입량은 251 kg ha⁻¹ yr⁻¹

Table 5. Nutrient content of tomato plants cultivated in soil incorporated green manures at harvesting stage

Rotation	Spring season						Autumn season					
	Fruit (g kg ⁻¹)			Stem+Leaf (g kg ⁻¹)			Fruit (g kg ⁻¹)			Stem+Leaf (g kg ⁻¹)		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
0-To-0-To	15	4.4	32	14	6.9	26	14	4.0	39	15	5.0	41
Cf-To-Cf-To	22	4.3	33	15	4.8	30	22	3.9	33	18	4.8	45
Hv-To-Sb-To	18	4.3	35	16	5.2	28	20	4.4	41	18	4.5	39
Ry-To-Sb-To	18	4.6	33	15	6.3	27	18	4.0	37	17	4.4	39
Ry-To-Sd-To	17	4.5	34	14	7.5	29	16	4.5	37	14	8.5	40

Table 6. Nutrient balances of tomato cultivated in soil amended with different kinds of green manures

Rotation	N (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)			P (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)			K (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)		
	Input	Output	Balance	Input	Output	Balance	Input	Output	Balance
0-To-0-To	0	155	-155	0	55	-55	0	380	-380
Cf-To-Cf-To	408	379	29	90	91	-1	202	729	-527
Hv-To-Sb-To	251	331	-80	27	86	-59	173	653	-480
Ry-To-Sb-To	175	250	-75	28	70	-42	189	523	-334
Ry-To-Sd-To	145	102	43	44	43	1	361	231	130

Table 7. Soil chemical properties after this experiment

Rotation	pH (H ₂ O, 1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cation(cmol kg ⁻¹)			NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)
					K	Ca	Mg	
0-To-0-To	7.3	0.8	1.8	322	0.12	4.8	1.1	10
Cf-To-Cf-To	6.5	1.2	1.9	342	0.18	4.7	1.0	66
Hv-To-Sb-To	7.0	1.0	2.2	325	0.14	4.8	1.2	58
Ry-To-Sb-To	7.1	0.9	2.2	315	0.16	4.8	1.0	16
Ry-To-Sd-To	7.2	0.7	2.4	321	0.20	4.7	1.0	16

로서 화분과 작물 연속재배구의 투입량인 145 kg ha⁻¹ yr⁻¹ 보다 현저하게 높았다. 반면에 두과녹비 토양환원 처리구의 토마토 생육량은 관행수준의 생육량을 보여 두과작물 연속재배구의 질소흡수량은 331 kg ha⁻¹ yr⁻¹로서 비교적 높았으나, 화분과 작물 녹비환원시 토마토 생육량은 무비구 이하로서 크게 낮았을 뿐 아니라 토마토의 질소흡수량 또한 현저하게 낮아 화분과 녹비작물 연속처리구의 질소흡수량은 102 kg ha⁻¹ yr⁻¹ 수준에 머물렀다. 그 결과 두과작물 연속재배구의 질소 수지량은 -80 kg ha⁻¹ yr⁻¹로서 상당량의 질소가 부족한 것으로 나타났고, 화분과 녹비작물을 연속재배한 처리구의 질소 수지량은 43 kg ha⁻¹ yr⁻¹로서 양분수지상 질소는 양의 값을 보였다. 전술한 바와 같이 두과작물연속재배구의 질소 수지량이 현저히 부족한 것은 두과작물 토양환원으로 토마토의 생장이 크게 자극받아 생육량이 증가한데에 기인하며, 화분과 작물 연속재배구에서 질소 수지량이 양의 값을 보인 것으로 화분과 작물 자체의 낮은 질소함량과 높은 C/N율로 인하여 후작물 토마토에 대한 질소공급 부족으로 작물생장이 현저하게 억제되었던 현상과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

한편 토마토 재배시 인 수지량에 미치는 녹비활용 효과는 질소와 유사한 경향이었으나, 질소만큼 과부족 현상이 심하지 않았다. 관행구와 화분과 녹비 연속재배구는 인 수지량이 -1 kg ha⁻¹ yr⁻¹로서 과부족이 거의 없는 수준이었고, 두과녹비작물 연속재배구와 두과-화분과 녹비 교호재배구의 인 수지량은 각각 -59와 -42 kg ha⁻¹ yr⁻¹로서 질소 수지량과 비교할 때 부족의 정도가 덜하였는데, 이러한 결과는 질소에 비해 인의 작물 흡수량이 적었기 때문이다. 반면에 화분과 녹비작물 연속재배구를 제외한 관행 및 두과-두과 녹비작물 연속재배구와 두과-화분과 녹비작물 교호재배구의 칼륨 수지량은 -333 ~ -527 kg ha⁻¹ yr⁻¹ 범위를 보여 관행재배를 비롯한 두과 녹비작물 처리구 모두에서 심각한 불균형 현상이 나타났다. 그러나 심한 칼륨 수지량의 불균형에도 불구하고 토마토

재배기간 중 칼륨결핍 증상은 관찰되지 않았으며, 이는 토양 모체로부터 부족한 칼륨을 충분히 공급할 수 있음을 암시하는 결과로 판단된다.

적 요

시설재배 토마토(To) 생산에 미치는 녹비 토양투입 효과와 양분 수지량을 조사하기 위하여 겨울과 여름 휴한기 동안 헤어리베치(Hv), 호밀(Ry), 콩(Sb), 수단그라스(Sd)를 녹비로 재배하였으며, 녹비와 토마토를 조합한 작부체계로서 두과 녹비작물을 활용한 Hv-To-Sb-To, 화분과 녹비작물로 구성된 Ry-To-Sb-To, 그리고 두과와 화분과 녹비를 교호 재배하는 Ry-To-Sd-To로 구분하여, 화학비료(Cf)를 처리하는 Cf-To-Cf-To 작부체계와 비교하였다. 녹비 수량은 겨울 휴한기에 비해 여름 휴한기 동안 높았던 반면, 녹비의 질소 고정량은 화분과에 비해 두과 녹비작물에서 현저히 높아 두과 녹비작물의 경우 토마토 재배를 위한 질소량의 62%를 고정하였다. 두과 녹비작물로 구성된 작부체계(Hv-To-Sb-To)의 토마토 수량은 관행(Cf-To-Cf-To)과 유사하였으나, 화분과 녹비로 구성된 처리구(Ry-To-Sd-To)의 수량은 두과 녹비작물 처리구 수량의 40% 수준으로서 현저한 수량 감소가 나타났다. 한편 두과 녹비작물 활용에 따른 질소공급 효과로 인해 토마토 생육 및 과실 생산량은 증가한 반면, 후작물에 의한 양분흡수량이 많아 Ry-To-Sb-To 작부체계의 N:P:K 수지량은 -80:-59:-480 kg ha⁻¹ yr⁻¹로서 양분의 불균형이 심각하였다. 역으로 화분과 녹비로 구성된 Ry-To-Sb-To 작부체계의 N:P:K 수지량은 43:1:130 kg ha⁻¹ yr⁻¹로서 양분수지상 3요소 모두 양의 값을 보였으나, 이는 화분과 녹비작물의 낮은 질소 고정량과 높은 C/N율로 인해 후작물 토마토의 생육이 부진하였던 결과로 판단된다. 결론적으로 두과 녹비작물 토양 환원시 양분 수지량에서 큰 음의 값을 보였을지라도 관행

수준의 토마토 수량을 얻을 수 있다는 관점에서 두과녹비는 화학비료 없이 유기농 재배를 위한 양분공급 및 토양지력 증진 방안으로서 활용 가능하고, 일반 토마토 재배 시에도 다소의 부족한 양분 수지량만 조정한다면 균형된 작부체계로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Nguyen, M. L., Haynes, R. J. and Goh, K. M. (1995) Nutrient budgets and status in three pairs of conventional and alternative mixed cropping farms in Canterbury, New Zealand, *Agric. Ecosystem and Environ.* 52, 149-162.
2. Meisinger, J. J., Hargrove, W. L., Mikkelsen, R. L., Williams, J. R. and Benson, V. W. (1991) Effects of cover crops on groundwater quality, pp. 57-68. In: Hargrove, W. L. (ed.), *Cover crops for clean water*, Soil and Water Conserv. Soc., Ankeny, IA.
3. Shipley, P. R., Meisinger, J. J. and Cecker, A. M. (1992) Conserving residual corn fertilizer nitrogen with winter cover crops, *Agron. J.* 84, 869-876.
4. Lee, I. B., Park, J. M., Lim, J. H. and Hwang, K. S. (2006) Growth and yield responses of the following tomato crop according to incorporation of green manures into soil, *Kor. Soc. of Agric. and Environ.* 25, 346-351.
5. Clark, A. J., Decker, A. M., Meisinger, J. J. and McIntosh, M. S. (1997) Kill date of vetch, rye, and a vetch-rye mixture: I. Cover crop and corn nitrogen, *Agron. J.* 89, 427-434.
6. Lanyon, L. E. and Beegle, D. B. (1989) The role of on-farm nutrient balance assessments in an integrated approach to nutrient management, *J. Soil Water Conserv.* 44, 164-168.
7. RDA(Rural Development Administration) (1999) Recommended standard fertilization for crops, RDA, Korea.
8. RDA(Rural Development Administration) (1988) Method of Soil Chemical Analysis, RDA, Korea.
9. Zhao, F., McGrath, S. P. and Crosland, A. R. (1994) Comparison of three wet digestion methods for the determination of plant sulphur by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES), *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25, 407-418.
10. Carter, M. R. (1993) In: Soil sampling and methods of analysis, pp. 459-471. Can. Soc. of Soil Sci., Lewis Publishers, Boca Raton, USA.
11. Cho, Y. S. (2003) Nitrogen fixation and growth characteristics three legume cover crops in no-tillage paddy field, *Kor. J. Crop Sci.* 48, 305-315.
12. Mueller, T. and Thorup-Kristensen, K. (2001) N-fixation of selected green manure plants in an organic crop rotation, *Biol. Agric. Hort.* 18, 345-363.
13. Boquet, D. J., Hutchison, R. L. and Paxton, K. W. (2003) Conservation tillage, cover crop BMP's for cotton, *La. Agric.* 46, 32-33.
14. Decker, A. M., Clark, A. J. and McIntosh, M. S. (1994) Legume cover crop contributions to no tillage corn production, *Agron J.* 86, 126-135.
15. Ebelhar, S. A., Frye, W. W. and Blevins, R. L. (1984) Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn, *Agron. J.* 76, 51-55.
16. Meetu, O. P. and Morris, R. A. (1988) In: Green manure in rice farming, pp. 209-222. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines.
17. Creamer, N. G., Bennett, M. A., Stinner, B. R. and Cardina, J. (1996) A comparison of four processing tomato production systems differing in cover crop and chemical inputs, *Am. Soc. Hort. Sci.* 121, 559-568.
18. Abudal-Baki, A. A. and Teasdale, J. R. (1993) A no-tillage tomato production system using hairy vetch and subterranean clover mulches, *Hort. Sci.* 28, 106-108.
19. Abudal-Baki, A. A., Teasdale, J. R., Korcak, J. R., Chirwood, D. J. and Huettel, R. N. (1996) Fresh-market tomato production in a low-input alternative system using cover crop mulch, *HortSci.* 31, 65-69.
20. Sainju, U. M., Singh, B. P. and Yaffa, S. (1999) Tomato yield and soil quality as influenced by tillage, cover cropping, and nitrogen fertilization, pp. 104-113. In: Hook, J. E. (ed.), *Proceedings of the 22nd Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture*, Tifton, GA, July 6-8. Spec. Pub. 95. Agric. Exp. Sta., Athens, GA.
21. Wagger, M. G. (1989) Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops, *Agron. J.* 81, 236-241.
22. Clark, A. J. (1993) Managing hairy vetch/cereal rye cover crop mixtures for nitrogen and water in no-tillage corn, Ph.D. diss. Univ. of Maryland, College Park (Diss. Abstr. 9407617).
23. Sullivan, P. G., Parrish, D. J. and Luna, J. M. (1991) Cover crop contributions to N supply and water conservation in corn production, *Am. J. Altern. Agric.* 6, 106-113.
24. Allison, F. E. (1966) The fate of nitrogen applied to soils, *Adv. Agron.* 18, 219-258.
25. Dang, M. V. (2005) Soil-plant nutrient balance of tea crops in the northern mountainous region, Vietnam, *Agric. Ecosystem and Environ.* 105, 413-418.