

유기질 비료와 멀칭자재가 MM.106 사과 대목의 생장과 광합성에 미치는 영향*

최현석** · 롬컬*** · 김월수**** · 최경주***** · 이연*****

Effect of Organic Fertilizer and Mulch Sources on Growth and CO₂ Assimilation in MM.106 Apple Trees

Choi, Hyun-Sug · Rom, Curt · Kim, Wol-Soo · Choi, Kyeong-Ju · Lee, Youn

The study was conducted to investigate the effects of organic fertilizers and mulches on the growth and CO₂ assimilation in MM.106 apple trees. Growth and CO₂ assimilation of MM.106 apple trees grown in a greenhouse were affected by the nutrient concentrations and carbon (C) and nitrogen (N) ratio in the raw materials of organic fertilizers and mulches. The optimum C:N ratios, which makes microorganism convert the organic N into the inorganic N, were obtained in the organic fertilizer, poultry litter, green compost, and grass clippings, resulting in increasing single shoot height, SPAD, and CO₂ assimilation. The SPAD and CO₂ assimilation were affected by the treatments 5 weeks after the treatments, and then the tree growth was affected by the treatments 6 weeks later. The most efficient tree growth and development were observed in the 10 to 15 mg·kg⁻¹ of the inorganic N in a soil, and the N was strongly related to the tree growth and development.

Key words : *organic fertilizer, mulch, growth, apple, SPAD, and CO₂ assimilation, nutrient*

* 본 연구는 미국 아칸소주립대학교 원예학과의 지원에 의해서 수행되었습니다. 한국 국립농업과학원 유기농업과의 지원에도 감사드리는 바입니다.

** 국립농업과학원 유기농업과

*** 미국 아칸소 주립대학교 원예학과

**** 교신저자, 전남대학교 원예학과(wskim@jnu.ac.kr)

***** 국립농업과학원 유기농업과

***** 국립농업과학원 유기농업과

I. 서 언

전 세계적으로, 웰빙 식품에 대한 사람들의 관심증가로 1990년대 이후 친환경 유기농 과실을 찾는 추세가 급속도로 증가하고 있다(DeEll and Prange, 1992; Rosen and Allan, 2007). 이에 따라서, 제초제와 화학비료 역할을 대체하는, 멀칭과 유기질 비료에 관한 관심이 유기농업 관련 종사자간에 높아지고 있다. 그러나 여러 종류의 멀칭과 유기질 비료에서 공급되는 무기양분이 나무 생장이나 광합성에 미치는 영향에 관련한 문헌은 미국 서부 지역(Andrews et al., 2001; Swezey et al., 1998)에서 주로 이루어져 왔고, 여름철에 덥고 습한 미국 남부지역에서는 거의 미비한 실정이다.

멀칭의 효과는 여러 연구를 통해서 입증되어 왔는데, 토양 물리성을 개선하고 토양 내 무기성분 함량을 증가시켜서 나무 생장을 향상시키는 것으로 알려졌다(Chalker-Scott, 2007; Rosen and Allan, 2007). 이와는 반대로, 나무껍질 또는 재활용 종이 멀칭구 같은 경우, 수분 보존 효과는 뛰어날 수 있으나, 높은 탄소/질소 비율 때문에 토양 내 질소기아 현상이 일어날 수 있다. 그러므로 유기농 과원 내에 질소 이용성은 여러 종류의 멀칭자재에 의해서 토양 내 생물학적 다양성 및 토양 물리성의 변화로 복잡해 질 수 있다(Rosen and Allan, 2007).

이상적인 과실 생산이나 나무 생장을 위해서 무기성분 관리의 목적은 토양이나 엽 분석을 통해서 적절한 시비 시기와 비료 양을 가지고 충분한 무기성분을 공급해 주는데 있다(Faust, 1989). 하지만, 유기농 재배 자들에게는 토양 내 무기태 질소 상태를 예측하기 어려워서, 이상적인 나무 생장을 위한 유기질 비료나 멀칭 양을 조절하기는 어려운 실정이다.

과수나무의 크기나 무게 때문에, 유기질 비료나 멀칭에 의한 나무 생장이나 광합성에 미치는 영향을 정확하게 측정하기는 어렵다. 또한 환경적인 요인과 토양 내 생물학적인 다양성의 존재 등 여러 외부적인 요인 때문에, 유기질 비료와 멀칭자재에서 공급된 무기양분을 가지고 나무 생장과 관련한 효과를 설명할 수는 없다.

따라서 본 실험은 기상환경을 통제된 온실 내에서, 유기질 비료와 멀칭에 의해서 공급된 무기성분이 MM.106 사과나무 생장과 광합성에 어떠한 영향을 미치는 것에 대해서 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 온실상태 및 식물재료

본 연구는 아칸소 주립대학교 부속농장에 위치한 온실에서 수행되었다. 환기 및 냉각시스템에 의해 25~35/18~20℃(낮/밤)를 유지했다. 고압 나트륨 전구(1,000 Watt)가 일정한 빛

을 공급하기 위해서 아침 7시부터 저녁 7시까지 공급되었다. 병충해는 친환경 살충제인 neem oil[®] (Green light CO., San Antonio, U.S.A.)로 방제하였다.

2007년 4월 16일에 일년생 MM.106 사과나무 대목(*Malus domestica Borkh.*)을 지표에서 10cm 길이로 잘라낸 후에, 피트모스와 모래(3:7, v/v)로 혼합되어 있는 10L 플라스틱 포트 (27.5 × 27.5 × 20cm)의 배양토에 심었다. 대목들은 한 개의 엽눈 에서만 줄기 생장을 유도했고 측아 눈등은 제거했다. 포트당 1L씩 매일 지하수로 관수하였다.

2. 처리 및 조사내용

유기농 사과나무 포장에서 한 나무당 유기질 비료 50g 질소와 멀칭은 한 나무당 10cm를 사용하였는데, 매해 포장에서 시비했던 양에 비례해서 각 포트에 5월 4일에 시비하였고, 처리 내용은 다음과 같다.

- 1) 대조구는 유기질 비료나 멀칭을 사용하지 않는 걸로 하였다(NF)
- 2) 상업용 유기질 비료는 17g 유기질 비료를 사용하였다(10N-2P-8K, Nature Safe[®]) (CF)
- 3) 계분비료는 포트당 108g 계분을 사용하였다(PL)
- 4) 나무껍질 멀칭은 포트당 2cm 나무껍질을 사용하였다(WC)
- 5) 재활용 종이 멀칭은 포트당 2cm 종이를 사용하였다(SP)
- 6) 식물성 퇴비 멀칭은 포트당 2cm 퇴비를 사용하였다(GC)
- 7) 풀 멀칭은 포트당 2cm 풀을 사용하였다(GR)

유기질 비료 및 멀칭 사용 한 달 후에 토양 내 pH와 전기전도도(EC)를 조사하였다. 유기물 함량(OM, %)은 작열감량(LOI)의 방법에 의해서(Schulte and Hopkins, 1996) 측정하였다. 토양화학성은 아칸소 주립대학교 토양 분석실에서 이루어졌는데, NO₃는 비색 정량법을 이용하였고, NH₄, P, K, Ca와 Mg는 Mehlich 3 방법(Mehlich, 1984)을 이용하였다.

7~10일 간격으로 줄기 생장은 줄자로, 엽록소는 녹색의 정도로 엽록소 함량을 간접 추정하는 비파괴 엽록소 측정기인 SPAD 502 meter(Minolta, Japan)로 줄기 생장의 중간정도의 엽에서 측정했다. 휴대용 광합성 측정기(CIRAS-1 Analyzer, PP Systems, U.S.A.)를 이용하여 엽록소 측정에 이용된 엽의 광합성을 측정하였다. IGRA(infra red gas analyer) leaf chamber는 25°C 온도, 350ppm CO₂, 50% 상대습도, 1,200μmolm⁻²s⁻¹ 광도로 설정했다.

3. 통계 분석

세 블록에 의한 난괴법으로, 처리 한달 후까지는 25 반복으로 줄기 생장, 광합성, SPAD meter를 측정했고, 그 이 후에는 18 반복으로 측정하였다. 토양 화학성은 처리당 7반복으로 분석하였다. 자료 분석은 SAS 통계분석(SAS version 8/2, NC, U.S.A.)을 이용하여 분산분석

하였고, 평균간 유의차 검증은 LSD(least significant difference, $\alpha=0.05$)을 활용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 유기질 비료 및 멀칭자재 내의 무기성분 비교

유기질 비료 및 멀칭자재의 무기성분을 분석한 결과 유기질 비료는 비교적 높은 질소, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량이 나타났다(Table 1). 멀칭 간 비교에 있어서, 풀 멀칭(GR)이 가장 높은 질소, 인산, 칼륨 함량을 나타냈고, 식물성퇴비(GC) 멀칭 또한 높은 함량을 보였다. 재활용종이(SP) 멀칭의 경우 칼슘을 제외하고는 모두 낮은 무기성분 함량이 나타났는데, 종이 내에는 CaCO_3 성분이 종이의 부식을 막기 위해서 함유되어 있는데(NSSGA, 2009), 이러한 성분이 칼슘성분 함량에 영향을 끼쳤던 것으로 생각된다. 또한, 종이자재의 높은 탄소량은 종이 내의 셀룰로오스 함량에 의해, 탄소/질소(탄질)비를 낮춘 것으로 판단된다. 30:1 이상의 탄질 비는 일반적으로 부식물의 퇴비화를 감소시키는데, 적절한 탄질 비(10:1-30:1)는 퇴비나 유기질 멀칭에서 질소의 무기화를 촉진시키는(N-mineralization) 큰 요소이며, 식물에 이용 가능한 무기태 질소의 공급에 큰 영향을 미친다(Gale et al., 2006). 식물성퇴비와 풀멀칭 자재 모두 탄질비가 10:1-20:1에 분포되어 있어서 미생물이 유기태 질소를 무기화 시키는데 적절한 탄질비로 판단된다(Gale et al., 2006).

Table 1. Nutrient concentrations in raw materials of nutrient source and ground cover mulch in a greenhouse

Treatment	C	N	C:N	P	K	Ca	Mg
	(%)						
Commercial fert (CF)	33 [†]	5.0	7	1.485	2.66	3.0	0.57
Poultry litter (PL)	28	1.2	23	1.233	1.20	6.0	0.29
Wood chips (WC)	29	0.6	42	0.059	0.25	1.3	0.09
Shredded paper (SP)	36	0.2	208	0.007	0.03	5.5	0.07
Green compost (GC)	17	1.1	15	0.173	0.49	3.7	0.17
Grass clippings (GR)	6	1.7	15	0.232	1.02	0.7	0.14

[†]Results were from bulk analysis derived from random samples of the nutrient sources or mulches, and were representative of the treatments during the study period.

2. 토양 화학성 조사

토양 pH는 모두 5.0 이하를 나타냈는데, 이는 피트모스 함량이 포트 배지 내에 70% 이상 함유되어 있어서 강산성을 보인 것으로 여겨진다(Table 2). 토양 내 염류함량을 나타내는 지표인 토양 EC(전기전도도)는 계분비료가 가장 높았고($178\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$) 나무껍질($55\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)과 풀멀칭($99\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)이 가장 낮은 경향이 나타났지만, 처리 간에 유의성은 없었다. 토양 내 OM(유기물함량, %) 또한 처리구간에 별다른 차이는 없었다.

처리 한 달 후에 토양 내 무기성분 함량을 분석한 결과, 무기태 질소(NO_3 또는 NH_4)는 이상적인 탄질 비를 보였던(Table 1) 상업용 유기질비료, 계분비료, 식물성퇴비, 그리고 풀멀칭에서 높은 함량을 보였다(Table 3). 인산은 처리제 내에 인산 함량이 높았던(Table 1) 상업용 유기질 비료와 계분비료에서 높았고, 칼륨은 처리제 내에 칼륨 함량이 낮았던 무처리구와 종이멀칭 처리구에서 낮은 함량이 나타났다. 칼슘함량은 유기질 자재 투입여부에 상관없이 처리구 간에 경향치를 알 수 없었다. 유기질 자재의 함량이 1% 이하로 낮았던(Table 1) 마그네슘은 토양 내에 있어서도 처리구 간에 별다른 차이가 없었다.

Table 2. Soil pH, electrical conductivity (EC), and organic matter (OM) in a greenhouse as affected by organic fertilizers and mulches at 29 days after treatments

Treatment	Soil pH	Soil EC ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Soil OM (%)
No fertilizer (NF)	4.5	140	1.6
Commercial fert (CF)	4.6	157	1.7
Poultry litter (PL)	4.8	178	1.7
Wood chips (WC)	4.7	55	1.5
Shredded paper (SP)	4.5	107	1.7
Green compost (GC)	4.5	144	1.8
Grass clippings (GR)	4.7	99	1.4
Significance	ns	ns	ns

ns = not significantly different

3. 수체 성장과 발달

MM.106 사과 대목에서 한 개의 엽눈 만을 허용하여서 줄기생장을 한 결과, 처리 6주 후부터 처리구 간에 유의성이 있었다($P < 0.001$) (Fig. 1). 처리 89일 후에는 계분비료, 풀멀칭,

그리고 상업용 유기질비료가 각각 75, 74, 72cm의 높은 줄기 생장이 나타났다. 토양 내 저농도의 무기태 질소함량을 보였던 나무껍질, 종이, 그리고 무처리는 각각 37, 41, 43cm의 낮은 줄기생장이 나타났다. 식물성퇴비의 경우 토양 내 무기태 질소함량이 낮았더라도 (Table 3) 원 자재 내의 높은 질소함량으로 인해서(Table 1) 나무껍질, 종이, 그리고 무처리 보다는 높은 줄기생장을 나타낸 것으로 판단된다.

Table 3. Soil macro nutrient concentrations ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in a greenhouse as affected by organic fertilizers and mulches at 29 days after treatments

Treatment	NO ₃	NH ₄	P	K	Ca	Mg
	$(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$					
No fertilizer (NF)	1.1	1.3	4	14	144	39
Commercial fert (CF)	1.8	10.8	10	28	150	41
Poultry litter (PL)	5.6	12.8	14	79	133	34
Wood chips (WC)	0.8	1.0	4	26	152	39
Shredded paper (SP)	0.9	0.8	3	14	157	37
Green compost (GC)	1.2	1.2	4	26	183	41
Grass clippings (GR)	2.4	7.7	6	37	116	35
Significance	***	***	***	***	ns	*

*, **, *** Significantly different means among the organic feeding sources at 29 days after treatments at $P < 0.05$, 0.01 , and 0.001 , respectively.

ns = not significantly different.

비 파괴 간이 엽록소 측정기인 SPAD 502 meter로 엽을 측정한 결과, 처리 후 5주째에 처리구간에 차이($P < 0.01$)를 보였다(Fig. 2). 토양 내 무기태 질소나 유기질 자재 내 질소함량이 적었던 처리구인 무처리, 나무껍질, 그리고 종이멀칭은 시기별로 SPAD 값이 감소하는 경향이 나타났고, 이와는 반대로 토양 내 무기태 질소나 유기질 자재 내 질소함량이 많았던 처리구인 상업용 유기질비료, 계분비료, 식물성퇴비, 그리고 풀멀칭 처리구는 SPAD 수치가 약간 증가하거나 유지하는 경향을 보였다. 이는 토양과 엽내 질소시비로 엽내 질소함량 증가로 인해서 엽록소와 관련되는 SPAD 수치가 증가했고, 무처리는 시기별로 수치가 감소했다는 Dong (2004) 등의 보고와 일치하였다. 처리구간에 엽록소 차이가 시작됐던 기간은 줄기생장의 유의적인 차이를 보였던 시기와 비슷했다(Fig. 1).

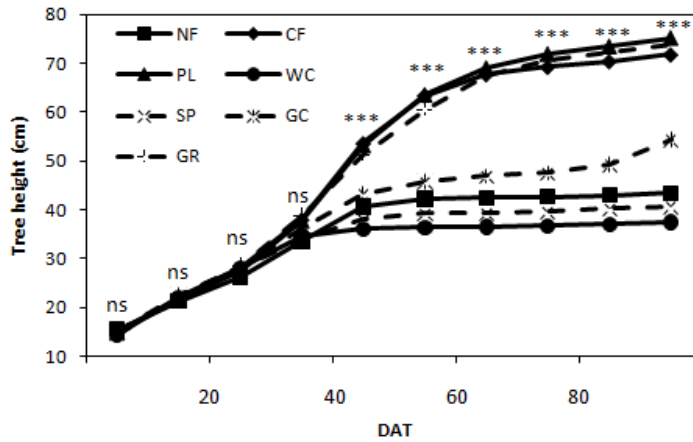


Fig. 1. Single shoot height of MM.106 apple trees grown in a greenhouse as affected by organic fertilizers and mulches from 10 to 89 days after treatment (DAT).

*, **, *** Significantly different means among the organic feeding sources for DAT at $P < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

ns = not significantly different.

NF = no fertilizer, CF = commercial fertilizer, and PL = poultry litter.

WC = wood chips, SP = shredded paper, GC = green compost, and GR = grass clippings.

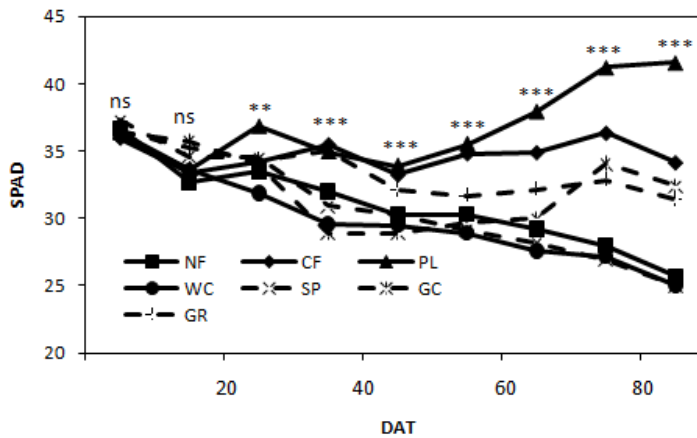


Fig. 2. Minolta SPAD 502 meter chlorophyll estimate of leaves of an MM.106 apple trees in a greenhouse as affected by organic fertilizers and mulches from 19 to 89 days after treatment (DAT).

*, **, *** Significantly different means among the organic feeding sources for DAT at $P < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

ns = not significantly different.

NF = no fertilizer, CF = commercial fertilizer, and PL = poultry litter.

WC = wood chips, SP = shredded paper, GC = green compost, and GR = grass clippings.

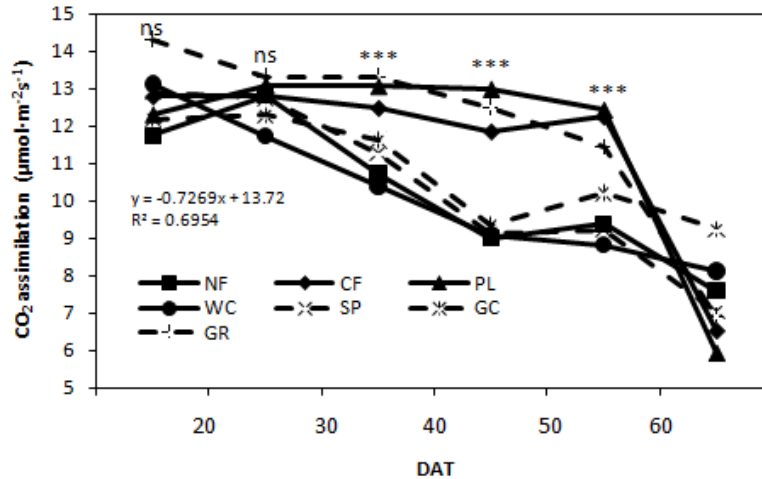


Fig. 3. Foliar CO₂ assimilation of single shoot MM.106 apple trees grown in a greenhouse as affected by organic fertilizers and mulches from 19 to 63 days after treatment (DAT).

*, **, *** Significantly different means among the organic feeding sources for DAT at $P < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

ns = not significantly different.

NF = no fertilizer, CF = commercial fertilizer, and PL = poultry litter.

WC = wood chips, SP = shredded paper, GC = green compost, and GR = grass clippings.

광합성 측정기로 엽을 측정한 결과, 광합성 함량은 시기별로 처리구간에 유의성이 있었다(Fig. 3). 모든 처리구에서 광합성 함량은 시기별로 감소하는 경향이 나타났다($r^2 = 0.6954$). 처리 후 35일 째 되는 날(DAT 35; 6월 8일) 부터는 온실 내의 고온의 영향으로 기공의 폐쇄로 광합성 함량이 감소한 것으로 판단된다(Faust, 1989). 또한 처리 후 35일 째 되는 날(DAT 35)부터, 처리구 간에 유의차가 더 심해졌고, 토양 내 무기태 질소 함량이 높았던, 세 처리구(상업용 유기질비료, 계분, 풀멀칭)에서 엽내 광합성 함량도 높았다. DAT 29에서 토양 중 무기태 질소 함량은 DAT 89에서 줄기생장($r^2 = 0.9237$)과 SPAD($r^2 = 0.8321$), 그리고 DAT 54에서 광합성 동화량($r^2 = 0.9386$)을 증가시키는 경향을 보였다(Fig. 4-A, -B, and -C). 토양 무기태 질소 함량이 $10\sim 15\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 이었을 때 나무의 성장과 광합성 동화량이 포화상태에 도달한 것으로 보아서 토양 $0\sim 20\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 의 무기태 질소범위에서 가장 효과적인 수준인 것으로 판단된다.

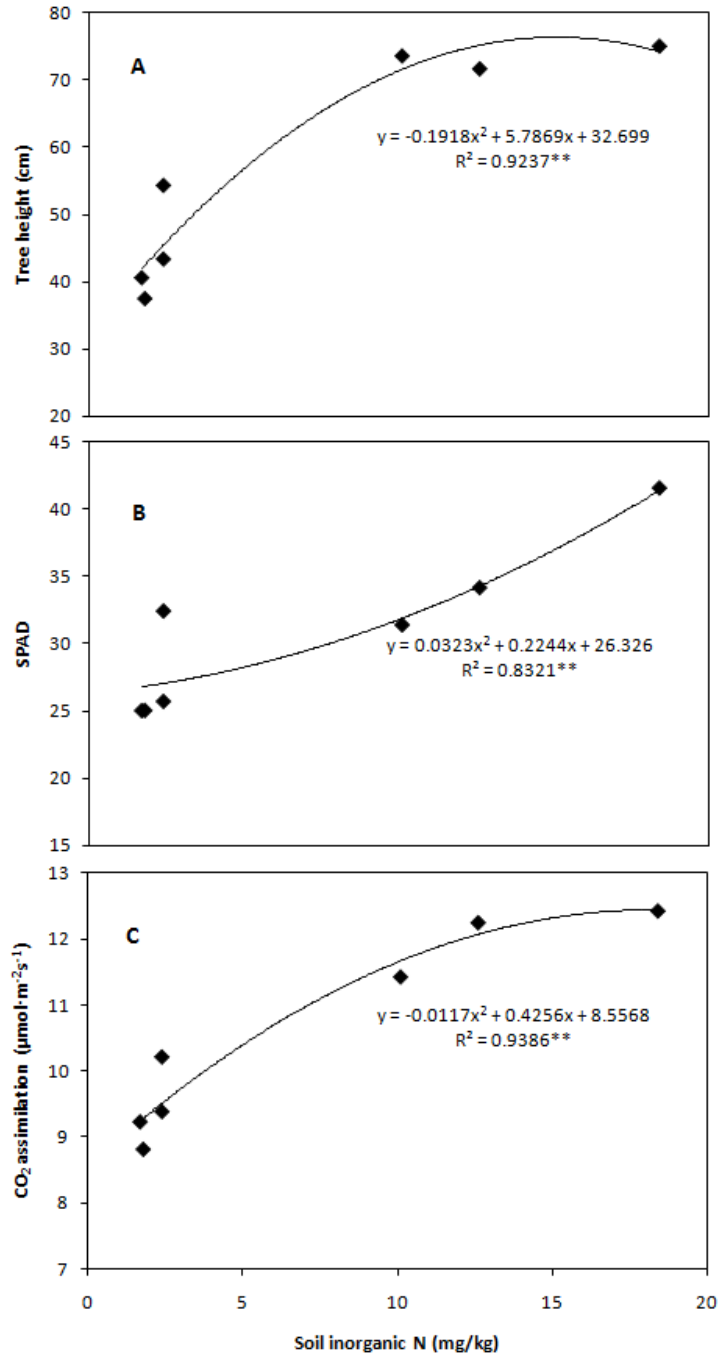


Fig. 4. Effects of inorganic [N] in soil in DAT 29 on tree height (A) in DAT 89, SPAD (B) in DAT 89, and CO₂ assimilation (C) in DAT 54 of single shoot MM.106 apple trees grown in a greenhouse as affected by organic fertilizers and mulches.

IV. 요약

본 연구는 여러 유기질 비료와 멀칭자재에 따른 MM.106 사과 대목의 성장과 광합성 동화량에 미치는 영향을 구명하기 위해서 수행되었다. 유기질 비료와 멀칭 자재의 무기성분 함량과 탄소/질소 비율(탄질비)은 수채 생육과 광합성에 영향을 주었다. 미생물이 유기태 질소를 무기태로 전환하기 용이한 이상적인 탄질 비를 나타냈던, 상업용 유기질 비료, 계분, 식물성 퇴비, 그리고 풀 멀칭구가 줄기생장과 SPAD 및 광합성 함량을 증가시켰다. 처리 5주 후에 SPAD 및 광합성 함량이 처리구에 의해 영향을 받았으며, 처리 6주 후에 줄기 성장 또한 처리구 간에 유의성을 나타냈다. 토양 내 무기태 질소 함량이 $10\sim 15\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 이었을 때 가장 효율적인 수채 성장과 발달을 나타냈으며, 질소함량은 성장과 발달에 유의적인 상관관계를 나타냈다.

[논문접수일 : 2009. 12. 29. 논문수정일 : 2010. 3. 16. 최종논문접수일 : 2010. 4. 16]

참고 문헌

1. Andrews, P. K., J. K. Fellman, J. D. Glover, and J. P. Reganold. 2001. Soil and plant mineral nutrition and fruit quality under organic, conventional, and integrated apple production systems in Washington State, U.S.A. *Acta Hort.* 564: 291-298.
2. Chalker-Scott, L. 2007. Impact of mulches on landscape plants and the environment - A Review. *J. Environ. Hort.* 25: 239-249.
3. DeEll, J. R. and R. K. Prange. 1992. Postharvest quality and sensory attributes of organically and conventionally grown apples. *Hort. Sci.* 27: 1096-1099.
4. Dong, S., D. Neilsen, L. Cheng, L. H. Fuchigami. 2004. Comparison of effects between foliar and soil N applications on soil N and growth of young Gala/M9 apple trees. *Acta Hort.* 638: 267-272.
5. Faust, M. (ed.). 1989. Photosynthetic productivity. pp. 1-51. *Physiology of temperate zone fruit trees*. A Wiley-InterScience Publication.
6. Gale, E. S., D. M. Sullivan, C. G. Cogger, A. I. Bary, D. D. Hemphill, and E. A. Myhre. 2006. Estimation plant-available nitrogen release from manures, composts, and specialty products. *J. Environ. Qual.* 35: 2321-2332.

7. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. in Soil Sci. and Plant Anal.* 15: 1409-1416.
8. NSSGA(National Stone, Sand & Gravel Association). 2009. Calcium carbonate - what is it? Alexandria, U.S.A.
9. Rosen, C. J. and D. L. Allan. 2007. Exploring the benefits of organic nutrient sources for crop production and soil quality. *Hort Tech.* 17: 422-430.
10. SAS Institute. 2001. SAS/STAT user's guide. Release 8.2. SAS Institute, Cary, U.S.A.
11. Schulte, E. E. and B. G. Hopkins. 1996. Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. pp. 21-31. In: F. R. Magdoff, M. A. Tabatabai, and E. A. Hanlon, Jr. (eds.). *Soil organic matter: Analysis and interpretation.* Soil Sci. Soc. Amer., Madison, U.S.A.
12. Swezey, S. L., M. R. Werner, M. Buchanan, and J. Allison. 1998. Comparison of conventional and organic apple production systems during three years of conversion to organic management in coastal California. *Amer. J. Alternative Agric.* 13: 162-180.