

사과 유기재배 시 무기성분 함량과 수체생장과 피해에 미치는 영향*

최현석** · 정석규***

Effect of Mineral Nutrient Contents and Growth on the Damages of Organic Apple Trees

Choi, Hyun-Sug · Jung, Seok-Kyu

Correlations of soil and leaf nutrients and growth of young 'Enterprise' apple (*Malus × domestica* Borkh.) trees were analyzed with tree damage, such as Japanese beetle (JB; *Popillia japonica* Newman)-damaged leaves, vole damage to trunk, tree mortality, and weed density in a certified organic orchard in warm and humid environment of Southern USA. Interaction treatments of four mulch and three fertilizers were applied around trees as follows: mow-and-blow (MB), shredded paper (SP), wood chips (WC), and green compost (GC) as a mulch, with no fertilizer (NF), poultry litter (PL), and commercial organic fertilizer (CF) as a fertilizer applied in April. Vole damage to trunk and weed density were little correlated with mineral nutrients and tree growth. JB-damaged leaves were highly stimulated to 26.5% in GC-treated plots while tree mortality were increased by MB treatments. Biomass production per tree was approximately 3,700 g on the WC- and GC-treated plots, which was two times higher than those values observed on the other two mulch plots. JB-damaged leaves tended to get worse when nutrients in soil and leaf increased through the correlation analysis, with a strong positive relationship ($r^2 = 0.585$) observed between JB-damaged leaves and trunk cross sectional area, a vegetative indicator. Tree mortality was more negatively associated with nutrient contents and growth of trees than those of soil nutrients. Wood chips was considered for a local organic mulch materials to increase organic matter contents and to produce healthy young trees in Southern USA, with control insect, such as beetle, and vole density in an orchard habitat.

Key words : beetle, mortality, mulch, weed, vole

* 이 결과는 2015년도 대구가톨릭대학교 교내연구비(과제번호: 20151086) 지원에 의한 것임.

** 대구가톨릭대학교 원예학과

*** Corresponding author, 대구가톨릭대학교 원예학과(gentleman71@msn.com)

I. 서 언

1990년대 중반 이후 화학비료와 농약 오남용으로 인한 자연생태계의 급격한 변화를 막기 위하여 유럽과 오세아니아, 그리고 북미와 아시아 일부 국가 등에서 저탄소 녹색농업을 실천하기 위한 유기농업 육성정책이 강화되어 왔다(Lotter, 2003). 유기인증 농산물에 대한 가격 프리미엄과 농업생태계 보존이라는 생산자의 책임의식이 생겨났고, 삶의 질 향상과 농산물 안전성에 대한 소비자 인식이 확산되면서 유기 농산물 생산량은 매년 20% 이상 증가하는 추세를 보여 왔다. 하지만 2000년대 중후반 이후로 유기 농산물 공급 증가에 따른 가격하락과 기후변화로 급격히 증가하는 해충 및 잡초, 그리고 월동기 동해에 따른 과실생산성 저하 등의 근본적인 원인을 구명하기 위한 기술개발이 요구되고 있다.

유기 과원의 표토관리를 위하여 다양한 유기질 멀칭이 활용되고 있는데 이는 병해충 및 잡초 방제, 토양생태계와 수질 보호, 토양물리성 개선, 그리고 양분공급 등에 다양한 영향을 끼치기 때문에 과원특성 및 작목에 적합한 지역별 자원순환형 멀칭자재를 선정하는 것이 필요하다(Chalker-Scott, 2007). 최근 지역 내에서 생산되는 자원폐기물을 과원에 멀칭자재로 이용하는 자원재순환 개념이 확산되고 있지만 이러한 자재가 해충이나 잡초 그리고 기후변화와 동반된 동해 발생에 대한 일관성 있는 결과로 정립 되지 않아서 과학적 검증이 요구되고 있다. 멀칭자재로 많이 이용되는 우드칩이나 짚은 잡초 억제와 토양 수분보존 효과를 크게 향상시킨다는 결과가 꾸준히 입증되어 왔다(Chalker-Scott, 2007; Hogue and Neilsen, 1987). 하지만 최근 재활용 멀칭자재로 많이 이용되고 있는 종이와 퇴비 등으로 피복된 유기 과원에서 발생하는 수체피해(해충, 동해, 잡초 등)에 대한 연구는 미미한 실정이다. 특히 유기재배 된 과원은 관행과는 다르게 토양 내 다양한 생물학적 요소뿐만 아니라 물리화학적 요소가 복합적으로 작용하므로 수체생장과 무기성분 함량에 따른 수체피해 간의 과학적 검증이 필요하다.

왜콩풍뎡이(Japanese beetle; *Popillia japonica* Newman)는 미국 서부를 제외한 전 지역에서 작물 종류에 상관없이 잎, 꽃, 과실 등을 가해하는 해충으로 발생 빈도가 가장 높은 것으로 알려져 있다(Potter and Held, 2002). 왜콩풍뎡이 방제를 위한 다양한 경종적 방법이 개발되고 있지만 관행과 유기 농업을 하는 수많은 국가에서 여전히 수체를 가해하는 위협적인 해충으로 보고되고 있다. 왜콩풍뎡이의 산란율과 유충 빈도수는 적절한 토양 수분과 유기물 함량이 증가하면 촉진된다고 하였다(Allsopp et al., 1992; Potter and Held, 2002; Szendrei et al., 2005). 이에 무기성분과 수체생장에 따른 왜콩풍뎡이 피해율과의 관련성을 제시하면, 비슷한 습성의 풍뎡이류 방제에도 유용한 정보가 될 것으로 생각된다. 또한 최근 휴면기에 극심한 저온이 지속되어 설치류와 동해에 따른 수체 고사의 피해 사례가 보고되고 있어서 이에 대한 대책이 시급히 요구되고 있다(Byers, 1984; Merwin et al., 1999). 휴면기 저온에 따른 동해 피해는 수체의 저장 양분과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있지만(Choi et

al., 2002; Kim et al., 2015; Lloyd and Firth, 1990; Park, 2002), 유기 과원에서 보고된 바가 거의 없는 실정므로, 이에 요인간의 관련성을 분석하여 경향성을 설정하면 유기과수의 효율적 관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

본 시험은 미국 남부지방의 유기 사과 과원 초기관리를 위하여 기존에 조사된 무기성분과 수체생장 자료를 바탕으로(Choi et al., 2011; McAfee and Rom, 2009) 왜콩퐁덩이와 설치류 피해를 및 고사율, 그리고 잡초 발생율과 상관관계를 분석하여 건전한 수체생장을 위한 최적의 무기성분 함량과 수체상태를 결정하고, 이에 따른 적절한 멀칭재료를 선택하기 위하여 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장 조건

시험포장은 온난 다습한 기후대에 속한 미국 남부 아칸소대학교 부속농장(위도 36.1 N; 경도 94.1 W; 고도 427 m)에 위치한 곳으로 시험당시 평균 1,269 mm의 누적강수량과 평균 온도는 14°C로 관찰되었다. 재식 전 5년 동안 작물이 심어져 있지 않았던 신규 개간지로 배수가 잘되는 미사질양토이었고, 2005년 봄과 여름에 토양 정지작업과 경운을 실시하였다. 토양 pH가 5.5로 약산성을 나타내어 산도교정을 위하여 ha당 농용석회 900 kg을 사용하였고, 토양 비옥도 향상을 위하여 ha당 마분퇴비 900 kg (질소 0.7%)을 사용하였다. 재식열 중간지대에는 K-31 툴페스큐와 밀을 혼파 하여 토양물리성 개선을 위한 녹비작물로 이용하였다. 2006년 봄에 ‘엔터프라이즈’/M.26 사과나무(*Malus×domestica* Borkh.)를 2×4 m 재식간격으로 남북 방향으로 216주를 심었다. 수형은 변형된 수직축형으로 원뿔형을 유지하면서 너비 1.5 m와 수고 4 m로 제한을 두어 재배하였다. 미국유기농 인증 규정을 준수하여 유기농법으로 관리하였고(National Organic Program) 유기인증 받은 2008년에 시험을 수행하였다.

2. 시험재료 및 처리 내용

유기질 멀칭 4종류와 비료원 3종류의 총 12가지의 복합처리를 포함하였다(Fig. 1). 유기질 멀칭은 초생(MB; 탄소 34.5%, 질소 1.7%, 탄질율 20.3), 종이(SP; 탄소 35.5%, 질소 0.2%, 탄질율 177.5), 우드칩(WC; 탄소 28.7%, 질소 0.7%, 탄질율 41.0), 식물성퇴비(GC; 탄소 17.0%, 질소 1.2%, 탄질율 14.2) 자재를 이용하였다. 시험처리에 이용된 종이는 대학 내의 재활용 종이센터에서 공급받았고, 우드칩과 식물성퇴비는 시청 산하기관에서 무료로 공급받아 사용하였다. 우드칩은 잘게 쪼개진(<10 cm) 다양한 나무 종류로 구성되었고, 식물성 퇴비는

이러한 우드칩을 5개월간 자연적으로 부숙시켜 만들어진 완숙퇴비였다. 종이, 우드칩, 식물성퇴비로 수체 주위에 멀칭하였을 때 두께는 약 10 cm 전후이었고 너비는 1 m로 매년 봄에 같은 부피를 유지하기 위하여 추가로 멀칭자재를 사용하였다. 초생멀칭은 연간 3회에 초하여 수체 주위에 피복하였다.



Fig. 1. Photo of organic 'Enterprise'/M.26 apple trees grown under mulch and fertilizer.

MB: mow-and-blow, SP: shredded paper, WC: wood chips, and GC: green compost. The mulch treatments were then split-plot for fertilizer treatments applied as no fertilizer, composted poultry litter, and a formulated, certified organic pelletized fertilizer.

멀칭을 한 후에 멀칭표면 위의 수체 주위에 비료를 사용하였다. 비료원은 무비료(NF), 계분(PL; 탄소 27.8%, 질소 1.2%, 탄질율 23.2), 상업용 유기질비료(CF, Nature Safe[®], USA; 탄소 33.4%, 질소 5.0%, 탄질율 6.7)로 양분을 공급하였다. 주당 실제 질소 사용량이 50 g이 되도록 계분과 유기질비료를 매년 4월에 사용하였다.

3. 조사내용

주요 조사내용은 토양과 식물체의 무기성분 농도 및 함량과 식물체 생장에 따른 잎의 왜콩풍뎅이 피해율, 설치류에 의한 주간 피해율, 수체 고사율, 잡초밀도와 상관관계를 통계 분석하였다. 잎의 왜콩풍뎅이 피해율, 설치류 피해율, 수체 고사율은 McAfee와 Rom (2009)의 결과를 변형하여 제시하였고, 잡초밀도는 Choi 등(2011)의 결과를 변형하여 제시하였다. 설치류 피해율과 수체 고사율은 2009년 2월에 조사되었고, 나머지 항목은 2008년에 조사하였다. 각 시험구에 3주를 식재하였고, 1구를 1반복으로 하여 처리 당 6반복을 두었다[1구(3주)×6반복×12처리=216주]. 시험수(data tree)는 중앙에 위치한 나무를 대상으로 하여 인접한 처리구의 영향을 최소화하였다.

왜콩풍뎅이 피해율은 풍뎅이 활동량이 가장 활발하였던 2008년 8월 중순에 시험수의 30~50 cm 길이의 결가지를 10개 무작위로 선정하여 왜콩풍뎅이에 의한 잎의 피해가 조금

이라도 관찰되면 피해율로 간주하였다. 잡초밀도(%)는 디지털카메라와 소프트웨어 프로그램(SigmaScan Pro, Systat Software Inc., USA)을 이용하여 녹색 수준이 증가하면 잡초밀도가 높아진 것으로 수치화한 결과를 이용하였다(Richardson et al., 2001). 2009년 1월 26~28일에 빙설폭풍(ice storm, -1℃ 전후)이 발생하였고, 설치류 발생이 확인하게 증가하여 2월 중순에 주간 밀동 부위를 육안으로 확인하여 설치류에 의한 주간 피해율을 조사하였고, 이에 따른 수체 고사율도 조사하였다.

수체피해와 상관관계 분석을 위한 토양화학적 변이 중 유기물함량과 pH 및 EC (electrical conductivity)는 토양 0~10 cm와 10~30 cm 깊이에서 채취한 토양샘플로 분석하였고, 질산태 질소, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 분석은 0~30 cm 깊이에서 채취한 토양을 이용하였다. 토양수분장력은 토양수분장력계를 토양 30 cm 깊이에 삽입하여 6~8월까지 측정된 수치를 이용하였다. 연간 사용된 전질소량은 멀칭과 비료의 전질소 투입량을 계산하여 상관관계 분석에 이용되었다. 상관관계 분석에 이용된 잎의 무기성분은 전질소, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 원소를 포함하였다.

상관관계 분석에 이용된 영양생장 변이는 잎의 무기성분 함량, 수고, 주간 단면적, 바이오매스 생산량, 평균 엽면적, 비엽중(specific leaf area; SLA), 총 엽수, 총 엽면적, 총 엽건물중, 꽃 수, 가지 총길이를 포함하였다. 잎의 무기성분 함량은 무기성분 농도×건물중으로 구하였다. 주당 바이오매스 생산량은 당년에 자란 1년생 뿌리와 잎 및 가지, 그리고 과실 건물중을 합하여 추정하였다. 뿌리 건물중은 5 cm (직경)×15 cm (길이)의 망상형 샘플러를 휴면기에 토양에 삽입하여 11월에 꺼내어 건물중을 측정한 후에 사과나무 근권이 대부분 분포되어 있는 0~30 cm 깊이(Faust, 1989)로 환산하여 구하였다.

4. 무기성분 및 자료분석

토양과 식물체 무기성분은 아칸소 대학교 토양분석센터(University of Arkansas Cooperative Extension Service)에 의뢰하여 분석하였다. 토양 pH와 전기전도도(EC)는 1(시료):5(중류수) 법으로 측정하였고 유기물 함량은 작열감량방법으로 측정하였다(Schulte and Hopkins, 1996). 질산태 질소는 비색(SKALAR Ltd., Norcross, USA)으로 정량하였고, 인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1 N ammonium acetate법 등으로 침출한 후 ICP (Inductively Coupled Plasma Spectrometry) 기기를 이용하여 분석하였다(Mehlich, 1984). 잎의 전질소는 micro-Kjeldahl 방법으로 LECO FP 428 Nitrogen Analyzer (LECO Corp., St. Joseph, USA)로 분석하였고, 인산과 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 ICP로 분석하였다.

각 시험구는 3주로 구성되었고, 1구를 1반복으로 하여 처리 당 6반복을 두어서[1구(3주)×6반복×12처리=216주] 평균과 표준편차를 산출하였다. 자료 분석은 SAS 프로그램(SAS version 8/2, USA, 2001)을 이용하여 95% 수준에서 Duncan's New Multiple Range Test로 평균간 유

의성 검증을 하였다. 회귀 분석은 PROC REG (SAS)를 이용하여 선형 회귀와 2차 회귀 분석을 95% 수준에서 유의성 검증을 하였다.

무기성분과 수체생장에 따른 설치류와 잡초밀도의 상관관련 정도는 미미하여서 본 결과에서 생략하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 수체 피해와 바이오매스

주당 바이오매스 생산량은 식물성퇴비+무비료(GCNF)와 우드칩+계분(WCPL) 복합처리구에서 4,000 g 이상으로 가장 높았으며, 우드칩+무비료(WCNF), 식물성퇴비+계분(GCPL), 우드칩+유기질비료(WCCF), 식물성퇴비+유기질비료(GCCF)에서도 3,000 g 이상이 생산되어 높은 수준을 보였다(Fig. 2). 바이오매스 생산량은 멀칭처리에 따라 상이하였으며, 우드칩(WC)과 퇴비멀칭구(GC)에서 초생(MB)과 종이(SP) 멀칭보다 약 2배 이상 높게 나타났다(Fig. 3A). 비료원 처리에 따른 바이오매스 생산량은 통계적으로 유의성 있는 차이가 관찰되지 않았다(Fig. 3B).

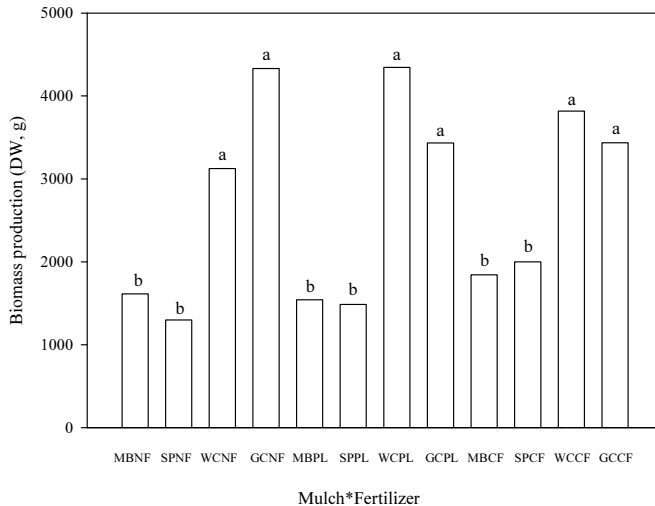


Fig. 2. Annual biomass production per apple tree in an organic orchard as affected by mulch and fertilizer.

MB: mow-and-blow, SP: shredded paper, WC: wood chips, and GC: green compost. NF: no fertilizer, PL: poultry litter, and CF: commercial fertilizer. Different letters on top of the columns indicate significant difference as determined by Duncan's multiple range test at $P < 0.001$.

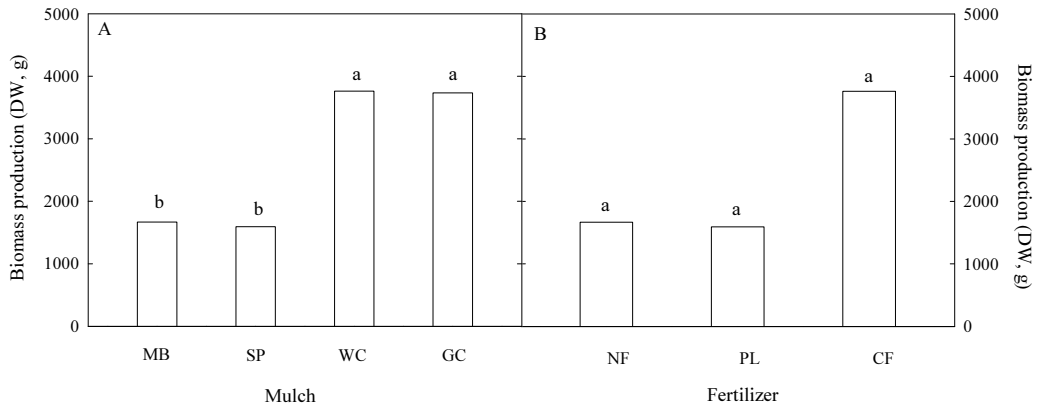


Fig. 3. Annual biomass production per apple tree in an organic orchard as affected by mulch (Panel A) and fertilizer (Panel B).

MB: mow-and-blow, SP: shredded paper, WC: wood chips, and GC: green compost. NF: no fertilizer, PL: poultry litter, and CF: commercial fertilizer. Different letters on top of the columns indicate significant difference as determined by Duncan's multiple range test at $P < 0.001$.

왜콩풍뎅이에 의한 잎 피해율은 식물성퇴비+유기질비료(28.6%)>식물성퇴비+계분(26.9%)>식물성퇴비+무비료(24.1%) 순으로 높게 나타났고, 종이+무비료(SP NF), 종이+계분(SP PL), 종이+유기질비료(SPCF) 처리구는 1%대 이하로 피해율이 미미하였다(Table 1). 이에 따라 멀칭재료에 따른 왜콩풍뎅이 발생률은 통계적으로 유의성 있는 차이가 관찰되었고($P < 0.001$), 초생멀칭구에서 6.7%의 비교적 낮은 수준을 보였는데 이는 여러 번의 예초와 경운이 토양 내 왜콩풍뎅이 유충의 생활주기에 부정적인 영향을 끼쳤기 때문으로 생각되었다(Szendrei et al., 2005). 설치류에 의한 주간 피해율은 멀칭과 비료의 복합 처리구에서는 통계적으로 유의성 있는 차이가 관찰되지 않았다(Table 1). 초생멀칭구에서는 설치류 피해율이 2.2%로 가장 높았는데, 이는 고밀도의 잡초 발생량(초생 발생량)이 설치류에게 서식처를 제공하여 개체 수 증가에 원인이 되었을 것으로 추정되었다. 따라서 초생멀칭구에서 설치류에 의한 수체의 피해가 심해지면 예초횟수를 늘리고 월동 전에 덮을 설치하여 설치류 발생율을 감소시켜야 할 것으로 판단되었다(Merwin et al., 1999). 설치류에 의한 주간피해는 고사율에도 일부 영향을 끼쳤을 것으로 판단되며, 초생멀칭구에서 35.2%의 높은 고사율이 관찰되었다(Table 1). 잡초 밀도는 초생+무비료(MBNF)>초생+계분(MBPL), 초생+유기질비료(MBCF) 순으로 높게 나타났다(Table 1).

Table 1. Japanese beetle (JB)-damaged leaves, vole damage to trunk, tree mortality, and weed density in an organic apple orchard as affected by mulch and fertilizer

Treatment	Tree damage (%)			
	JB damage	Vole damage	Mortality	Weed density
Mulch×fertilizer				
MBNF	3.8 b	1.3	33.3	44.1 a
SPNF	0.0 b	0.0	5.6	9.6 d
WCNF	6.1 b	0.2	5.6	16.9 bcd
GCNF	24.1 a	1.7	0.0	19.2 bcd
MBPL	4.5 b	2.8	38.9	30.3 abc
SPPL	0.5 b	1.3	27.8	17.4 bcd
WCPL	5.1 b	0.8	5.6	22.9 bcd
GCPL	26.9 a	0.8	0.0	19.6 bcd
MBCF	4.4 b	2.5	33.3	32.5 ab
SPCF	1.3 b	0.8	16.7	9.8 d
WCCF	9.1 b	0.0	0.0	18.5 bcd
GCCF	28.6 a	1.5	11.1	13.9 cd
<i>P</i> value	<0.001	ns	ns	<0.001
Mulch				
MB	4.2 bc	2.2 a	35.2 a	35.6 a
SP	0.6 c	0.7 b	16.7 b	12.2 b
WC	6.7 b	0.3 b	3.7 b	19.5 b
GC	6.5 a	1.3 ab	3.7 b	17.5 b
<i>P</i> value	<0.001	<0.05	<0.01	<0.001
Fertilizer				
NF	8.5	0.8	11.1	22.6
PL	9.2	1.5	18.1	22.5
CF	10.9	1.2	15.3	18.7
<i>P</i> value	ns	ns	ns	ns

The data was modified from result of McAfee and Rom (2009). Means comparisons among treatments within a column by Duncan's new multiple range test; means followed by different letters are significantly different, 5% level. ns: not significantly different. MB: mow-and-blow, SP: shredded paper, WC: wood chips, and GC: green compost. NF: no fertilizer, PL: poultry litter, and CF: commercial fertilizer.

2. 무기성분과 수체생장에 따른 수체피해와의 상관관계

겨울철 과원에 서식하는 설치류는 유기질 멀칭자재나 초생으로 피복한 곳이 제조제로 관리된 나지보다 높게 나타나서 서식장소가 설치류 빈도수 결정에 주요한 인자라고 알려졌다(Byers, 1984; Merwin et al., 1999). 이에 멀칭 자재의 종류나 피복 깊이 등에 의해서 설치류와 잡초밀도에 보다 더 영향을 끼쳤을 것으로 생각되었고, 무기성분과 수체생장에 따른 설치류와 잡초밀도의 상관관련 정도는 미미한 수준으로 나타났다(자료 미제시).

토양 수분함량과 유기물이 증가하면 왜콩풍뎅이의 이상적인 산란장소를 제공하여 유충의 생존율이 높아질 수 있다고 하였다(Allsopp et al., 1992; Potter and Held, 2002; Szendrei et al., 2005). 왜콩풍뎅이에 의한 잎 피해율은 투입된 전질소량(유기물량)과 이에 따라 증가된 토양 내 유기물 및 무기성분 농도와 정의 상관관계가 관찰되었다(Table 2). 특히 전질소 투입량 및 토양 EC와 왜콩풍뎅이에 의한 잎 피해율은 r^2 가 각각 0.924와 0.839로 나타나서, 토양이 비옥해지면 왜콩풍뎅이 발생률도 유의성 있게 증가된 것으로 판단되었다. 하지만 토양 수분장력과 왜콩풍뎅이 발생률은 별다른 상관관계가 관찰되지 않았는데($r^2=0.067$), 이

Table 2. Correlations of soil nutrient concentrations with Japanese beetle (JB)-damaged leaves and tree mortality in an organic apple orchard as affected by mulch and fertilizer

Variables		JB damage (%)			Mortality (%)		
		<i>P</i>	r^2	Type	<i>P</i>	r^2	Type
Input T-N (g)		***	0.924	+L	*	0.452	-L
Organic matter (%)	0~10 cm	*	0.330	+L	ns	0.035	-
	10~30 cm	ns	0.001	-	ns	0.143	-
Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	0~10 cm	***	0.839	+L	ns	0.225	-
	10~30 cm	***	0.793	+L	ns	0.172	-
Soil water tension (kPa)		ns	0.067	-	ns	0.160	-
NO ₃ (%)		***	0.924	+L	ns	0.114	-
P (%)		***	0.799	+L	ns	0.068	-
K (%)		***	0.899	+L	*	0.414	-L
Ca (%)		***	0.677	+Q	ns	0.164	-
Mg (%)		***	0.753	+L	*	0.432	-L

*, *** Significantly different means among treatments at $P<0.05$ and 0.001, respectively. ns, not significantly different. +L and +Q indicated positive linear and quadratic regression, respectively. -L indicated negative linear regression.

는 수체생장이 왕성한 곳에서 수분흡수가 증가하여 상관관계가 희석된 것으로 생각되었다. 수체 내 무기성분이 축적되면 동해발생율과 수체 고사율이 감소하였다고 보고되었지만 (Lloyd and Firth, 1990; Choi et al., 2002; Park, 2002; Kim et al., 2015), 수체 고사율은 투입된 전질소량, 토양 내 칼륨과 마그네슘 농도를 제외하고는 별다른 상관관계가 관찰되지 않았다(Table 2). 이는 사과나무의 근권은 토양 1 m 이상까지 깊게 형성되므로 토양과 수체의 무기성분 함량 및 고사율 등의 관련성이 감소된 것에 영향을 준 것으로 생각되었다(Choi et al., 2011; Mamgain et al., 1998; Neilsen and Edwards, 1982).

왜콩풍뎅이에 의한 잎의 피해율은 잎의 무기성분 농도와 함량, 그리고 가지의 전질소 함량과 대부분 정의 상관관계가 관찰되었다(Table 3). 토양 무기성분에서 관찰된 바와 같이 수체 내의 무기성분이 풍부하면 성충인 왜콩풍뎅이의 서식과 활동이 활발하여 잎의 피해가 심해진 것으로 판단되었다. 수체 고사율은 잎의 무기성분 함량이 증가할수록 감소하는 부의 상관관계를 보여서(Table 3), 무기성분 함량이 풍부하면 휴면기에 저장양분을 충분히 축적하여 동해에 대한 내성을 높였던 것으로 판단되었다. 본 시험의 결과와 유사한 보고에서도 과수의 잎이 조기 낙엽 되면 수체 내 무기성분이나 탄수화물 함량이 낮아져서 동해나

Table 3. Correlations of concentrations and contents of foliar nutrient and shoot N contents with Japanese beetle (JB)-damaged leaves and tree mortality in an organic apple orchard as affected by mulch and fertilizer

Variables	JB damage (%)			Mortality (%)		
	<i>P</i>	r^2	Type	<i>P</i>	r^2	Type
N (%)	ns	0.195	-	ns	0.055	-
P (%)	***	0.843	-L	ns	0.204	-
K (%)	*	0.413	-L	ns	0.021	-
Ca (%)	*	0.646	+L	ns	0.285	-
Mg (%)	***	0.778	+L	ns	0.071	-
N (g)	*	0.396	+L	*	0.404	-L
P (g)	*	0.506	+L	ns	0.011	-
K (g)	*	0.542	+L	*	0.462	-L
Ca (g)	**	0.545	+L	*	0.460	-L
Mg (g)	***	0.718	+L	*	0.380	-L
Shoot N (g)	*	0.557	-Q	*	0.423	-L

*, **, *** Significantly different means among treatments at $P < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively. ns, not significantly different. +L indicated positive linear regression. -L and -Q indicated negative linear and quadratic regression, respectively.

이듬해 생장에 부정적인 영향을 끼친다고 하였다(Lloyd and Firth, 1990; Choi et al., 2002; Park, 2002; Kim et al., 2015).

과수의 양적인 영양생장 지표와는 관련성이 미미한 변이들인 수고와 평균 엽면적 및 비엽중(SLA)은 왜콩풍뎅이에 의한 잎의 피해율이나 고사율과 상관관계가 미미하였다(Table 4). 영양생장을 나타내는 기타 지표들은 잎의 무기성분 함량과 마찬가지로 왜콩풍뎅이 피해율과는 강한 정의 상관관계를 보였고 고사율과는 부의 상관관계가 관찰되었다.

Table 4. Correlations of tree growth with Japanese beetle (JB)-damaged leaves and tree mortality in an organic apple orchard as affected by mulch and fertilizer

Variables	JB damage (%)			Mortality (%)		
	P	r ²	Type	P	r ²	Type
Tree height (cm)	ns	0.119	-	ns	0.074	-
Biomass production (g)	*	0.415	+L	**	0.561	-L
Avg. leaf area (cm ²)	ns	0.001	-	ns	0.046	-
Specific leaf area (g/cm ²)	ns	0.021	-	ns	0.312	-
Total leaf no.	*	0.622	+Q	*	0.431	-L
Total leaf area (cm ²)	**	0.662	+L	*	0.458	-L
Total leaf dry weight (g)	*	0.360	+L	*	0.415	-L
Flower no.	*	0.519	+L	*	0.422	-L
Total shoot length (cm)	*	0.627	+Q	*	0.414	-L

*, ** Significantly different means among treatments at $P < 0.05$ and 0.01 , respectively. ns, not significantly different. +L and +Q indicated positive linear and quadratic regression, respectively. -L indicated negative linear regression.

왜콩풍뎅이에 의한 잎의 피해율은 표토(0~10 cm)의 pH 7.2 전후에서 10% 이하의 낮은 수준이 관찰되었고, 심토(10~30 cm)에서는 별다른 상관관계가 관찰되지 않았다(Fig. 4A and B). 고사율은 표토의 pH 7.2 전후, 심토 pH 6.9 전후에서 5% 이하의 낮은 수준을 보였고, 심토에서 pH가 6.5 이하로 내려가거나 7.1 이상으로 올라가면 고사율이 약 30% 이상으로 증가되었다(Fig. 4C and D). 이는 산성이나 알칼리성 토양에서는 중금속의 용해도가 올라가고 인산이나 양이온의 이용도가 감소(Faust, 1989)되므로 휴면기에 중금속으로 인한 독성과 수체의 필수 무기성분의 축적이 상대적으로 적어 저온에 대한 감수성이 높아졌을 것으로 추정되었다. 특히 영양생장의 대표적인 지표인 주간 단면적(TCSA; Westwood, 1993)이 증가할수록 콩풍뎅이에 따른 피해율이 높았지만($r^2=0.585$) 건전한 수세관리가 이루어져서 고사율은 감소된 것으로 판단되었다(Fig. 5; $r^2=0.503$). 건전한 수세형성이 이루어졌던 우드칩 처

리구는 왜콩풍뎡이 발생율과 고사율이 10% 이하로 동시에 경감되었는데, 이는 투입된 멀칭자재의 재질이나 크기 등이 콩풍뎡이 유충 발생률에 영향을 주었던 것으로 생각되며, 멀칭 자재 특성에 따른 해충발생 시험이 추가적으로 필요하였다.

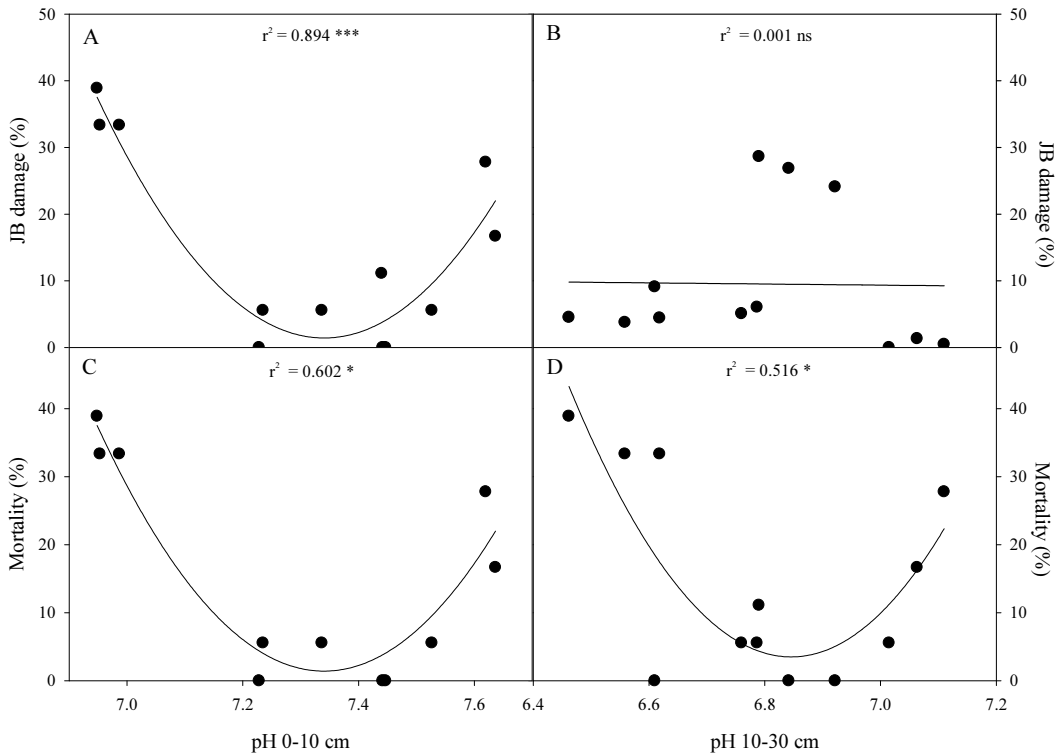


Fig. 4. Correlations of depths of soil pH 0~10 cm (Panels A and C) and 10~30 cm (Panels B and D) with Japanese beetle (JB)-damaged leaves and tree mortality in an organic apple orchard as affected by mulch and fertilizer.

*, *** Significantly different means among treatments at $P < 0.05$ and < 0.0001 , respectively. ns, not significantly different.

과수는 영년생으로 타 작물보다 크기가 크고 생육기간이 길어 많은 시간과 노력이 필요하며, 재배·환경적 요인과 수체에 따른 반복 간 편차가 크기 때문에 결과 도출이 어려운 것으로 나타나고 있다. 이에 두 가지 요인 간에 상관관계를 도출하여 결론화 하는 것은 다소 무리가 있지만 요인에 따른 경향을 분석하면 유기재배 생산시스템에 새로운 정보를 제공해 줄 것으로 생각된다. 본 시험에서 유기사과의 수체생장이 왕성하면 왜콩풍뎡이는 증가하였지만 고사율은 감소하는 경향이 관찰되어서 이러한 두 가지 부분을 효과적으로 제어할 수 있는 멀칭자재의 선정이 요구되었다. 결과적으로 탄질(탄소와 질소)비가 비교적 높

결론적으로 지역 자원순환형 피복자재를 선정하기 위해서는 품종, 과원의 기후 및 재배적인 환경뿐만 아니라 유기자재의 경제성 분석 등을 고려하여야 하며 이에 대한 지역별 시험 연구가 선행적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

IV. 적 요

온난다습 한 기후대의 미국 남부지방에서 2008년에 유기인증을 받은 ‘엔터프라이즈’ 사과나무(*Malus domestica* Borkh.)를 대상으로 수체피해[왜콩풍뎅이(*Popillia japonica* Newman), 설치류, 고사울, 잡초밀도]에 대한 잎과 토양의 무기성분 및 수체생장과 상관관계를 분석하였다. 과원은 유기질 멀칭 4종류와 비료 3종류를 복합으로 처리하였고, 멀칭은 초생, 종이, 우드칩, 식물성퇴비를 포함하였고, 비료는 무비료, 계분, 상업용 유기질비료를 매년 4월에 수체 주위에 시용하였다. 수체피해인 설치류와 잡초밀도는 무기성분이나 수체생장과는 별다른 상관관계가 관찰되지 않았다. 왜콩풍뎅이에 의한 잎 피해는 식물성퇴비 멀칭구에서 높았고(26.5%), 고사울은 초생멀칭구에서 가장 높았다. 주당 바이오매스 생산량은 우드칩과 식물성퇴비 멀칭구에서 약 3,700 g으로 나머지 처리보다 2배 이상 높게 나타났다. 상관관계 분석을 통한 잎의 왜콩풍뎅이 피해율은 토양과 잎의 무기성분이 증가하면 심해지는 경향을 보였고, 영양생장 지표인 주간 단면적과 강한 정의 상관관계($r^2=0.585$)가 관찰되었다. 수체 고사울은 토양 내 무기성분보다는 수체의 무기성분 함량과 수체생장과 부의 상관관계가 관찰되었다. 이에 미국 남부지방 과원에서 시용된 우드칩은 유기물함량을 증가시키고 유목의 건전성을 확보하는 동시에 토양 내의 풍뎅이류 등의 해충과 설치류의 피해 정도를 최소화할 수 있는 지역 맞춤형 피복자재로 판단되었다.

[Submitted, April, 27, 2017 ; Revised, July, 27, 2017 ; Accepted, August, 1, 2017]

References

1. Allsopp, P. G., M. G. Klein, and E. L. McCoy. 1992. Effect of soil moisture and soil texture on oviposition by Japanese beetle and rose chafer (Coleoptera: Scarabaeidae). *J. Econ. Entomol.* 85: 2194-2200.
2. Byers, R. E. 1984. Control and management of vertebrate pests in deciduous orchards of the eastern United States. *Hort. Rev.* 6: 253-285.

3. Chalker-Scott, L. 2007. Impact of mulches on landscape plants and the environment — a review. *J. Environ. Hortic.* 25: 239-249.
4. Choi, H. S., C. R. Rom, and M. Gu. 2011. Effects of different organic apple production systems on seasonal nutrient variations of soil and leaf. *Sci. Hortic.* 129: 9-17.
5. Choi, S. T., S. M. Kang, D. S. Park, W. D. Song, and K. K. Seo. 2002. Thinning effect on fruit characteristics and reserve accumulation of persimmon trees defoliated in early Autumn. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43: 660-665.
6. Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. A Wiley-InterScience Publication, USA. pp. 53-132.
7. Hogue, E. J. and G. H. Neilsen. 1987. Orchard floor vegetation management. *Hort. Rev.* 9: 377-430.
8. Kim, B. S., K. C. Cho, B. K. Yun, S. K. Jung, H. S. Choi, and J. H. Han. 2015. Growth of 'Wonhwang' pear trees and regrowth rates of stem cuttings in vitro as affected by time and degree of defoliation. *Korean J. Organic Agri.* 23: 267-280.
9. Lloyd, J. and D. Firth. 1990. Effect of defoliation time on depth of dormancy and bloom time for low chill peaches. *HortScience* 25: 1575-1578.
10. Lotter, D. W. 2003. Organic agriculture. *J. Sustainable Agric.* 21: 59-128.
11. Mangain, S., H. S. Verma, and J. Kumar. 1998. Relationship between fruit yield, and foliar and soil nutrient status in apple. *Indian J. Hort.* 55: 226-231.
12. McAfee, J. and C. R. Rom. 2009. Ground cover management and nutrient source affect weed density, vole damage, and survival during establishment of an organic apple orchard. *HortScience* 44: 1114 (abstract).
13. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil extractant: A modification of Mehlich 2 extractant, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15:1409-1416.
14. Merwin, I. A., J. A. Ray, and P. D. Curtis. 1999. Orchard ground cover management systems affect meadow vole populations and damage to apple trees. *HortScience* 34: 271-274.
15. Neilsen, G. H. and T. Edwards. 1982. Relationships between Ca Mg, and K in soil, leaf, and fruits of Okanagan apple orchards. *Can. J. Soil Sci.* 62: 365-374.
16. Park, S. J. 2002. Effect of different degrees of defoliation on fruit quality, reserve accumulation and early growth of young Fuyu persimmon. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 20: 110-113.
17. Potter, D. A. and D. W. Held. 2002. Biology and management of the Japanese beetle. *Annu. Rev. Entomol.* 47: 175-205.
18. Richardson, M. D., D. E. Karcher, and L. C. Purcell. 2001. Quantifying turfgrass cover using digital image analysis. *Crop Sci.* 41: 1884-1888.

19. Schulte, E. E. and B. G. Hopkins. 1996. Soil organic matter: Analysis and interpretation. Soil Science Society of America Journal Publication, USA. pp. 21-31.
20. Szendrei, Z., N. Mallampalli, and R. Isaacs. 2005. Effect of tillage on abundance of Japanese beetle, *Popillia japonica* Newman (Col., Scarabaeidae), larvae and adults in highbush blueberry fields. J. Appl. Entomol. 129: 258-264.
21. Westwood, M. N. 1993. Temperate-zone pomology physiology and culture. 3rd Edition. Timber Press Inc, USA. pp. 275-299.