

Effect of Deep Ploughing with a Spading Machine and an Excavator on Improvement of Physical Properties in the Highland Applied Saprolite

Yongseon Zhang, Yong-Hee Moon¹, Yeon-Kyu Sonn*, Kangho Jung, Hye-Rae Cho, and Kyeong-Hwa Han

National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea

¹*Korea National Park Service, National Geo-parks Secretary, Seoul 04212, Republic of Korea*

(Received: June 15 2015, Revised: October 22 2015, Accepted: October 23 2015)

In highland crop fields, saprolite is piled up approximately every three years as deep much as 20 to 30 cm because farmers expect that adding new materials may improve productivity and mitigate hazards by continuous cultivation of a single crop. Piling saprolite, however, has been reported to induce poor soil drainage. Effects of deep ploughing with a spading machine and an excavator were studied in sites located in Daekwanryeong-myeon, Pyeongchang in which soil physical properties were deteriorated by piled saprolite. The soil made of parent material of Samgag series was piled up over surface soil of Haggog series naturally developed in the area. Carrot was cultivated in the field. Productivity and growth factors of carrot were compared among control and deep ploughing by a spading machine and an excavator. Effective soil depth extended to 60 cm or greater by 60 cm deep ploughing by an excavator or 50 cm deep ploughing by a spading machine. On the other hand, effective soil depth was within 50 cm at control plot. Productivity of carrot responded to amelioration of soil physical properties. The productivity was greater in deep ploughing treatments than that of control or 30 cm ploughing. It suggested that increased productivity by deep ploughing was mainly related to breaking plough pan which inhibited extension of rooting zone.

Key words: Deep tillage, Spading machine, Excavator, Carrot

Carrot growth and yield by soil management practices.

Treatment	Plant height (cm)	Root length (cm)	Root radius (cm)	Root weight (g plant ⁻¹)	Yield ¹ (Mg ha ⁻¹)
Deep tillage to 60 cm depth with excavator	56.4	21.0	4.9	365	81.30a
Deep tillage to 50 cm with spading machine	54.5	20.1	4.7	347	77.27a
Coventional tillage to 20 cm	45.2	19.7	4.4	284	63.22b

¹Lowercase letters indicate statistical significance analyzed by ANOVA with LSD.

*Corresponding author : Phone: +82632382425, Fax: +82632383822, E-mail: sonnyk@korea.kr

§Acknowledgement : This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ010519)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

우리나라 국토의 73%가 경사지에 분포하고 있으며, 강우로 인한 토양침식 위험도는 OECD 28개 국가 중 8위로 토양 침식이 심한 편이다 (OECD, 2008). 토양유실량은 연간 52 백만톤으로 추정되는데, 특히 농경지의 연간 토양유실량은 밭이 37.8 Mg ha⁻¹이며, 과수원 11.1, 임야 3.5, 논 0.3 Mg ha⁻¹ 순으로 낮았다 (Jung et al., 2004).

우리나라 고랭지 면적의 90% 이상이 강원도에 위치하고 있으며, 강원도 밭농사의 48%가 400 m 이상의 준고랭지 이상에서 이루어지고 있다. 이러한 준고랭지 지역은 집중강우와 봄철 해빙기에 토양 및 영양물질 등의 유실에 취약하다 (Cho, 2000). 따라서, 토양유실로 척박해진 고랭지 경사밭의 생산성을 유지하기 위해 관행적으로 비료, 농약, 가축분뇨 등을 지나치게 투입하거나 석비레 성토를 많이 하고 있다. 특히, 석비레는 농경지의 연작피해 경감, 작물의 생산성과 상품성 향상, 배수 불량 및 자갈이나 바위가 많은 농경지를 개선하기 위하여 사용되고 있으나 문제점으로는 토양의 자갈함량이 높고, 양이온교환용량을 감소시키는 결과를 초래한다. Yang et al. (2001)은 강원도 고랭지의 토양특성을 우리나라 토양 화학성분 평균치와 비교하여 유기물함량은 높고 CEC 함량이 낮았으며, 이외의 성분은 다소 높거나 비슷한 수준이라고 하였다.

고랭지 농업지대의 객토 주기는 매년, 2년~4년 주기로 평균 2년마다 객토를 하고 있으며, 한해 걸러 하는 2년 주기 객토가 50%를 상회하였다 (Park et al., 2004). 이때 객토하는 62%의 농가에서 1회 객토량으로 100~200 Mg ha⁻¹을 사용하는 것으로 알려져 있다. 그러나 양분의 보유능력이 대단히 낮은 모래로 성토하기 때문에 일반농업 지역보다 양분의 유실이 높은 특징을 가지고 있다 (Park, 2002). 다른 한편으로 후작물로 두과작물 재배 시 토양유실 저감에 효과가 있으며, 토양의 유기물 및 질소공급, 토층개량으로 토양 특성 개선에 효과를 가지는 것으로 알려져 있다 (Jung et al., 1985). 그러나 고랭지의 토양관리는 농경학적 토양보전보다는 비영농기 석비레 성토를 주로 하고 있다.

석비레 성토로 작물생육을 위한 유효토심을 확보할 수 있으나, 낮은 비옥도와 배수 관리에 대한 토양 이화학적 특성에 대한 의문이 제기되고 있다. 석비레는 모래입자로 되어 있으나, 기계 하중에 의한 토양 하층에 다짐층이 형성될 수 있다. 이러한 고랭지 지역에서는 배수불량에 의해 근권 발달이 저해되고, 낮은 양분공급으로 작물 생산성과 비료효율이 낮아진다. 그러나 이에 대한 적절한 토양관리 방안이 미미한 실정이다. 따라서 석비레를 성토한 고랭지 농경지에서 토양의 물리적 특성을 평가하였고, 심토파쇄를 통한 작물수량과 토양특성 개선효과를 조사하여 농업 현장에 적용 가능한 심토파쇄 방법을 제안하고자 하였다.

Materials and Methods

석비레 적토지의 물리적 특성 석비레를 적토한 토양의 물리적 특성을 조사하고자 강원 평창군 대관령면 횡계리 전71번지 (37°40'31"N, 128°44'08"E)에 위치한 고랭지 농업 연구소내 시험포장을 선택하였다. 토양통은 사질계 학곡통으로 토양단면의 특성은 0~20 cm, 20~55 cm, 55~80 cm, 80~92 cm, 92 cm이상 깊이에서 층위가 구분되었다. 그리고 농경지는 표층의 토양유실로 인해 40 cm 이상으로 석비레를 적토한 특징을 가지고 있다 (Table 1). 2011년 작물수확 후에 토양 20 cm 깊이로 100 cm⁻³ core를 이용하여 토양 시료를 채취하였고, 토양 분석을 위한 시료를 채취하여 건조 및 파쇄한 후에 2 mm이하의 토양시료를 분석에 이용하였다.

석비레 적토지의 심토파쇄 및 시비관리 2013년 석비레 적토지 심토파쇄에 따른 토양의 물리성 개선효과를 구명하기 위하여 석비레 적토지인 강원 평창 대관령면 횡계리 전3번지 (37°34'08"N, 126°43'14"E)에 위치한 포장을 선정하였다. 당근재배지 심토파쇄를 위한 대상토양은 Table 2와 같이 원래 토양은 사양질계 충적토로 이목동 (coarse loamy, mixed, mesic family of Dystric Eutrudepts)위에 삼각통의 기층 ('C1, 'C2)으로 40 cm 까지 적토된 인위토이다. 토양의 표토와 기층은 황갈색의 양질사토, 사양토이고 토색은 황갈색 (10YR 5/4)으로 선명한 담갈색 (10YR 7/3)의 장식 반문이 있다. 또한, 토양구조는 없으며 (토괴), 반습시 푸슬푸슬하고, 점착성과 가소성은 약하며 공극은 없고 작은 운모가 포함되어 있다.

시험전 토양의 이화학적 특성으로 점토 8.8%, 미사 15.5%, 모래 75.7인 사양토이었으며, pH 5.7, 유기물 3 g kg⁻¹, 유효인산 242 mg kg⁻¹, 치환성 양이온 (cmol_c kg⁻¹)은 Ca 2.69, K 0.07, Mg 0.43, Na 0.03 이었다. 우리나라 일반 밭

Table 1. Initial physico-chemical characteristics of studied soil Ap Horizon.


Soil profile	Physico-chemical characteristics
	○ Particle size distribution (wt,%)
	- Clay 8.8, Silt 15.5, Sand 75.7
	- Soil Texture (USDA) : Sandy Loam
	○ pH (1:10) : 5.7
	○ OM : 3 (g kg ⁻¹)
	○ Ave. P ₂ O ₅ : 242 (mg kg ⁻¹)
	○ Exchangeable cation (cmol _c kg ⁻¹)
	- Ca : 2.69
	- K : 0.07
	- Mg : 0.43
	- Na : 0.03

Table 2. Soil physico-chemical characteristics of studied soil with piled saprolite.

Horizons	Soil depth (cm)	Particle size distribution (wt, % ; USDA)			Bulk density Mg m ⁻³	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Ex. cation (cmolc kg ⁻¹)			
		Sand	Silt	Clay				Ca	K	Mg	Na
Ap	0-25	73.0	19.8	7.3	1.61	6.66	4.5	3.47	0.85	0.08	0.06
C ₁	25-55	76.1	17.7	6.2	1.55	6.74	0.2	3.01	0.79	0.04	0.06
C ₂	55-100	54.5	32.3	13.3	1.56	6.29	11.5	2.34	0.48	0.35	0.05



(a)



(b)

Fig. 1. Spading machine (a) and excavator (b) to perform deep tillage.

토양의 화학성 평균 pH 5.9, 유기물 20 g kg⁻¹, 유효인산 577 mg kg⁻¹, 치환성칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.79, 5.5, 1.5 cmolc kg⁻¹과 비교할 때, 특히 토양 내 유기물, 유효인산 및 치환성칼슘 함량이 낮았다.

석비레를 적정한 시험포장의 물리성 개선을 위한 방법으로 굴삭기 쇄토 (60 cm), 삽질식 쟁기 심경쇄토 (50 cm), 관행 경운 처리구를 배치하였다. Fig. 1과 같이 심경쇄토에 사용된 굴삭기는 중량 13 ton, 주행속도 30 km h⁻¹, 전장 610 cm, 전폭 193 cm, 전고 285 cm로 벉켓용량은 1.0m³이었다. 삽질식 쟁기는 회전자 (rotor)에 3개가 한 세트로 배열된 평평한 날 (삽)을 가진 경운 장비를 30 ps 규모의 트랙터에 부착하여 저속으로 2회 경운하였다. 관행 경운은 25 cm 깊이까지 트랙터로 경운하였다.

시험작물은 말뚝이용 당근으로 나이젤 품종을 공시하여 2013년 4월 20일 파종하였고, 파종방법은 열간거리 20 cm, 주간거리 12 cm로 하여 10a당 3 L를 기준으로 초파한 후 1차 (본엽 2~3매), 2차 (본엽 6~7매)에 걸쳐 솟음작업을 실시하였다. 시비량은 농가 관행 시비량인 ha 당 질소 90 kg 인산 300 kg, 가리 110 kg 이었고, 퇴비는 15 Mg ha⁻¹을 토양 경운 전에 살포하였다 (RDA, 2005). 이때 질소와 가리는 밀거름으로 70%, 웃거름으로 30% 비율로 사용하였고, 인산은 전량 밀거름으로 사용하였다. 수확기 생육 및 수량 조사는 2013년 10월 18일에 농사시험연구 조사 기준 (RDA, 2003)준하여 실시하였다.

토양 이화학성 분석 토양의 이화학적 특성은 Soil

Survey Laboratory Methods Manual (USDA, 2004)와 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 기준으로 분석하였다. 토성은 피펫법으로 입경을 분석하여 미 농무성 기준의 삼각도표법(USDA법)에 의하여 분류하였다. 원추관입저항은 dynamic penetrometer (Eijelkamp, 06.15 penetrometer)를 이용하여 토양의 경도를 0~80 cm까지 조사하였다. 원추의 각도는 60°이며, 지름은 1 cm 크기를 사용하였으며, 주입 속도는 2 cm sec⁻¹, 용적밀도는 100 cm³ 캔으로 시료를 채취하여 105°C에 48시간 건조하여 분석하였다. 토양의 투수력은 내경 30 cm, 외경 55 cm, 높이 25 cm인 무지 금속원판으로 된 Doublering method (Black, 1965)로 측정하였고, 단위 면적과 시간에 따른 토양에 침투하는 물의 양을 측정하여 Darcy's 법칙 (1856)에 따라 계산하였다.

토양 화학성분 분석은 채취한 시료를 풍건한 후 2 mm체에 통과된 것을 분석대상 시료로 하였다. pH는 풍건한 토양을 증류수와 1:5로 혼합하여 30분간 진탕한 현탁액을 Ion analyzer를 이용하여 측정하였다. 유기물 함량은 Tyurin법으로 분석하였고, 유효인산은 Lancaster법으로 분광광도계를 이용하여 분석하였다. 치환성 양이온 (K, Ca, Mg)은 5 g의 토양시료에 50 ml의 1N-Ammoniumacetate (pH 7.0)를 가하여 30분간 진탕하여 No. 2 여지로 여과 후 원자방출분광광도계 (ICP)를 이용하여 분석하였다.

통계처리 심도파쇄에 따른 당근수량은 분산분석 하였고, 유의수준 5%로 최소유역차 검정을 통해 처리간 평균을 비교하였다.

Results and Discussion

석비레를 성토한 토양의 이·화학적 특성 석비레 적토지의 토양 깊이별 수리전도도를 조사한 결과는 Fig. 2과 같다. 석비레 적토지의 0~40 cm 깊이에서 수리전도도는 1.5 cm hr^{-1} 이하였으며, 40~60 cm는 1.5에서 2.0 cm hr^{-1} , 그리고 깊이 60 cm부터 80 cm 깊이까지는 수리전도도가 서서히 증가되어 최대 10.8 cm hr^{-1} 을 나타내었다. 농경지의 표층을 석비레로 적토하여 토양을 개량하더라도 토양단면 중 토양구조가 급격히 변하는 급변층이 존재하면, 물의 이동속도는 아주 느려지는 결과를 초래한다 (Zhang et al., 2014). 결과적으로 모래입자를 다량 함유하는 석비레로 적토하여도 토성 급변층에는 석비레 중 점토의 하층 이동에 의한 점토 집적으로 물 침투특성이 악화되는 것으로 판단되었다.

토양깊이별 수리전도도가 급격히 달라지는 Ap층 (0~20 cm), C1 (60 cm), 그리고 C2층 (80 cm) 토양의 이·화학적 특성은 Table 2와 같다. Ap층 (0~20 cm)과 C1 (60 cm)층에서 모래와 미사의 비율은 약 97%이었으나, C2층은 87%로 Ap층과 C1층과는 차이를 나타내었다. Ap층과 C1층의 용적밀도는 각각 1.61 과 1.55 cm^{-3} , C2층에서 용적밀도는 1.56 g cm^{-3} 으로 두 층위와 뚜렷한 차이가 없었다. 그러나 석비레 적토로 인해 Ap층과 C₁층의 pH와 유기물 함량은 C2 층과 뚜렷한 차이가 있었다. Table 2와 같이 지속적으로 석비레를 적토한 농경지는 뚜렷하게 층위별 토양특성이 달라지게 하였다. 이상의 결과를 볼 때, 석비레 적토한 농경지는 작물 재배를 위한 토양비옥도 관리보다는 배수특성의 향상이 우선적으로 필요할 것으로 판단되었다.

석비레 적토지 심토파쇄 효과 구명 석비레를 적토한 농경지의 배수특성을 개선하기 위해 당근 재배지에서 삼질식 쟁기와 굴삭기의 심토파쇄 효과를 평가하였다 (Fig. 3). 처리구에 관계없이 경작 깊이인 15 cm 이내에서 원추관입 저항은 처리구 간에 차이가 없었다. 그러나 관행구의 원추관입저항은 토심 15 cm 이후부터 완만한 증가를 보여 토심 30cm이하부터는 저항값이 3 MPa 이상이었고, 토심 60 cm 이상부터는 원추저항의 측정이 불가능한 경반층이 나타났다. 관행구에 대비하여 굴삭기 60cm 쇄토, 삼질식 쟁기 50 cm 쇄토한 처리구는 토양 깊이 15 cm 이상부터 원추관입저항은 완만한 증가를 보였고, 표토 30 cm 부근에서 저항값은 3 MPa 이상, 60 cm 이상부터는 저항값이 5 MPa 이상으로 증가하였다. Campbell et al. (1991)에 의하면, 1.5 MPa 이하의 관입저항값을 가지는 경작지에서 뿌리 생육은 전혀 지장이 없다고 하였으나, 삼질식 쟁기와 굴삭기의 심토파쇄는 석비레 적토지에서 뿌리생육의 한계 값인 3 MPa 이하로 물리성을 개선할 수 없었다. 그러나 당근재배지에서 원추관입저항의 측정 한계값을 기준으로 크랭크 쟁기와 굴삭기로 심경쇄토 하였을 때, 토심 확대 깊이는 굴삭기 60 cm 쇄토구 > 크랭크쟁기 50 cm 쇄토구 > 관행구 30 cm 이내의 순이었다. 따라서, 삼질식 쟁기와 굴삭기는 관행구에 비해 물리성 개선효과가 있는 것으로 나타나 현장에서 적용 가능한 체계적인 심토파쇄 기술 개발이 필요할 것으로 판단되었다.

삼질식 쟁기와 굴삭기 심토파쇄 처리에 따른 당근 수확기 토양의 이·화학적 특성은 Table 3과 같다. 관행 (20 cm 경운)구에서 용적밀도는 1.56 Mg m^{-3} 이었고, 삼질식 쟁기 (50 cm)처리구는 1.55 Mg m^{-3} 로 관행구와 큰 차이는 없었다. 그러나 굴삭기 (60 cm) 처리구의 용적밀도는 1.61 Mg

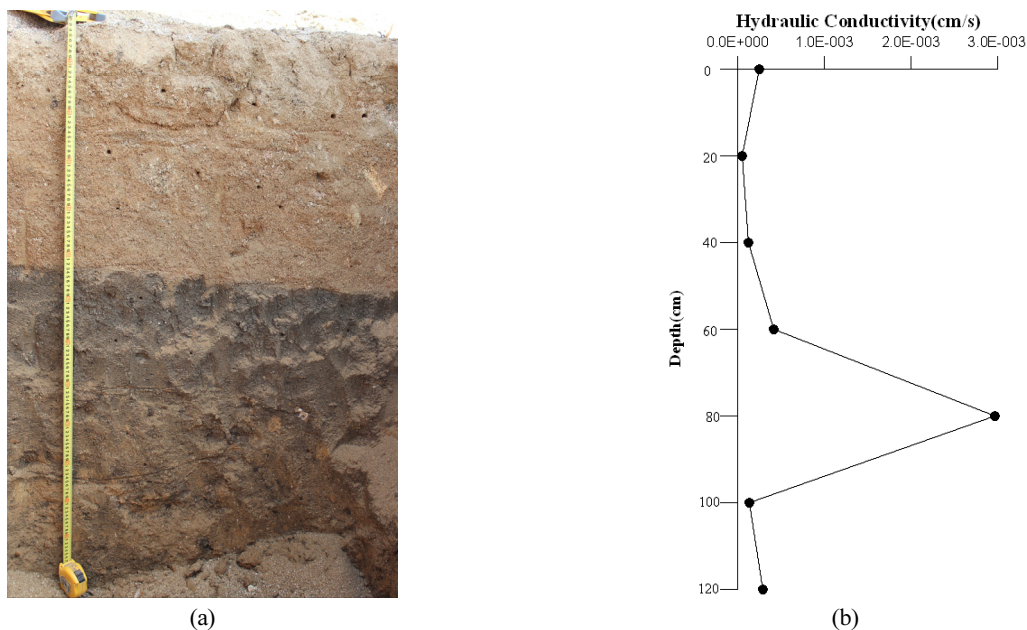


Fig. 2. Soil profile (a) and distribution of saturated hydraulic conductivity (b).

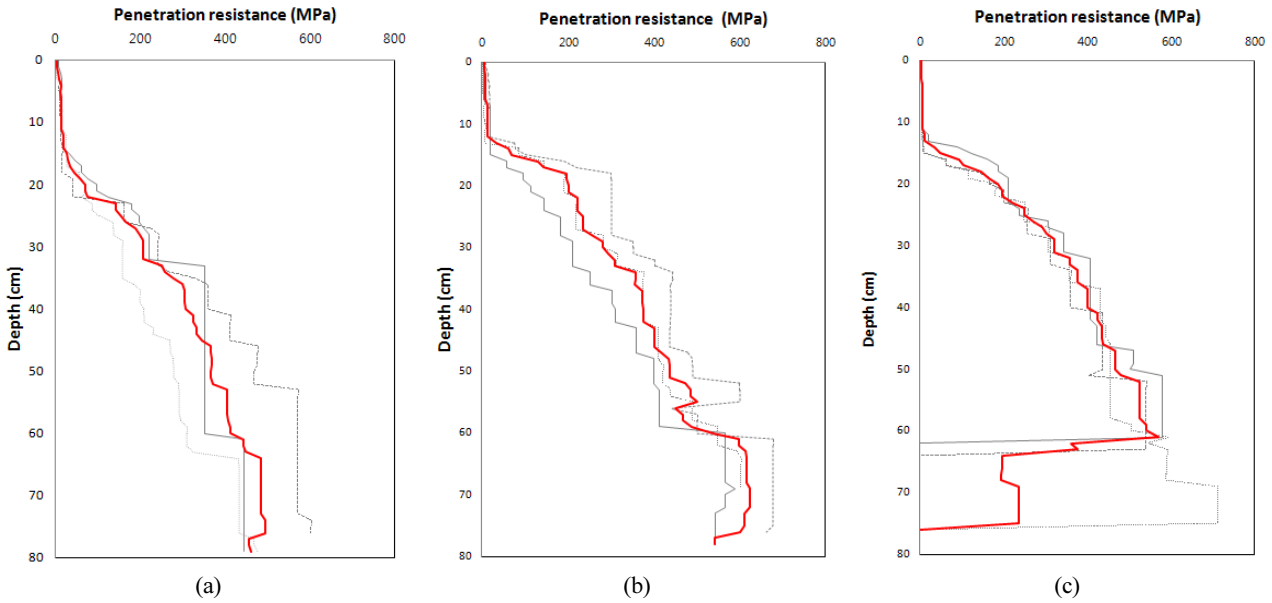


Fig. 3. Penetration resistance with soil management practices on July 1st; (a) deep tillage to 60 cm with excavator (b) deep tillage to 50 cm with spading machine (c) conventional moldboard plough.

Table 3. Soil physical property of 30 cm depth at carrot harvest (October 12, 2013).

Treatment	Bulk density (Mg m ⁻³)	Soil three phase			pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Ave. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation (cmolc kg ⁻¹)			
		Solid (m ³ m ⁻³)	Water (m ³ m ⁻³)	Air (m ³ m ⁻³)				Ca	K	Mg	Na
Deep tillage to 60 cm depth with excavator	1.61	0.607	0.176	0.217	5.2	6	226	3.83	0.07	0.71	0.05
Deep tillage to 50 cm with spading machine	1.55	0.587	0.185	0.228	5.1	5	339	3.41	0.09	0.69	0.04
Coventional tillage to 20 cm	1.56	0.590	0.196	0.215	5.0	7	346	3.21	0.15	0.68	0.04

Table 4. Comparison of carrot growth and yield by soil management practices.

Treatment	Plant height (cm)	Root length (cm)	Root radius (cm)	Root weight (g plant ⁻¹)	Yield ¹ (Mg ha ⁻¹)
Deep tillage to 60 cm depth with excavator	56.4	21.0	4.9	365	81.30a
Deep tillage to 50 cm with spading machine	54.5	20.1	4.7	347	77.27a
Coventional tillage to 20 cm	45.2	19.7	4.4	284	63.22b

¹Lowercase letters indicate statistical difference by ANOVA with LSD.

m⁻³으로 관행구와 삽질식 쟁기처리구에 비해 증가되었으나, 석비레 적토지에 심토파쇄 처리에 의한 심토의 물리성 개선효과는 인정되지 않았다. 토양 화학성을 살펴보면, pH는 관행구 5.0에 비하여 처리구의 pH는 5.1~5.7의 범위로 다소 높았다. 또한, 유기물은 관행구 7 g kg⁻¹에 비하여 처리구의 유기물은 5~8의 범위로 유사하였고, 유효인산은 관행구 346 mg kg⁻¹에 비하여 처리구 226~339의 범위 다소 낮았다. 결과적으로 심토파쇄 처리에 의한 토양 내 화학성 분포는 관행구와 비교하여 처리구 간에 큰 차이는 없었다.

석비레 적토지에서 심토파쇄 방법에 따른 당근의 생육과

수량을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 당근 수량은 관행구가 6,322 kg 10a⁻¹인 반면 굴삭기 쇄토 (60 cm) 8,130 kg 10a⁻¹, 삽질식 쟁기 쇄토 (50 cm) 7,727 kg 10a⁻¹로 나타나 심경쇄토 처리구와 관행구간에 당근 수량은 유의차가 인정되었다. 본 연구 결과에서 석비레 적토지에서 심토파쇄 처리는 일반 관행구와 비교하여 당근수량이 약 30% 증가하는 것으로 나타났다.

당근 수량과 토양의 물리화학적 특성을 살펴보면, 석비레 적토지 심토 30 cm에서 용적밀도가 심토파쇄 처리방법 간 차이가 없고, 표토의 토양 화학성이 유사하였다. 그럼에

도 불구하고 수확기 당근 수량이 포크레인 쇠토 (60 cm), 크랭크 심경쇠토 (50 cm) 처리구가 관행구보다 높은 것은 처리 전 심토 약 50 cm이하에 존재하였던 경반층의 파쇄로 토양물리성 개선에 의한 물의 하향 이동속도를 증가시키고 한발시 심토에서 물 공급효과로 당근 수량이 증가한 것으로 판단된다. 특히 Beutler와 Centurion (2008)에 의하면 뿌리의 신장은 토양 경반층과 밀접한 관계가 있고, 수량을 높이기 위해서는 화학적 성질을 개량하기에 앞서 물리적 특성을 개량하는 것이 중요하다고 하였다. 따라서 대부분의 작물은 뿌리를 통해 수분과 함께 양분을 흡수하므로 토양 중 이들 성분의 가용도를 높이기 위해서는 작물뿌리의 분포를 확대시키는 것이 가장 중요한 것으로 판단되었다.

Conclusion

고랭지에서는 연작피해 경감, 작물의 생산성 향상을 위하여 화강암 풍화모재인 석비레가 2년 주기로 약 20~30 cm 적토되고 있으나 경작기간이 오래될수록 배수불량 문제가 발생되고 있다. 기존 학곡통 위에 40 cm까지 석비레로 적토한 토양 (강원 평창 대관령면 횡계리 전71번지)의 경우, 기존 표토와 적토층 사이에서 침투속도는 1.5 cm hr^{-1} 로 매우 낮았다. 따라서 표토에 조립질인 석비레나 모래 등으로 적토하여도 토양 단면 내에 토양구조가 급격히 변하는 토성 급변층이 존재하면, 물이 정체하거나 성토과정에서 경반층 형성으로 적토형 인위토에는 배수처리나 심경이 필요하다.

이러한 석비레 적토지의 심토파쇄에 따른 토양의 물리성 개선효과를 구명하기 위하여 강원 평창 대관령면 횡계리 전 34번지 이목통 위에 석비레를 40 cm까지 적토한 토양을 대상으로 굴삭기와 크랭크 쟁기를 활용하여 심토파쇄하고, 당근으로 나이젤 품종을 공시하여 기존 관행경운구와 비교하였다. 삼질식 쟁기, 굴삭기, 기존 쟁기로 경운하였을 때 토심 확대 깊이는 굴삭기 60 cm, 삼질식 쟁기 50 cm, 기존 쟁기 30cm이내이었다. 수확기 당근 수량은 포크레인 쇠토 (60 cm) > 삼질식 쇠토 (50 cm) > 관행 (동계호밀)의 순으로 유의한 차이(ANOVA)가 있었다.

따라서 심토파쇄 처리구가 관행구보다 당근 수량이 1.3 배 높은 것은 처리 전에 토층에 존재하였던 경반층의 파쇄가 주요한 원인으로 판단되었다.

References

Beutler, A.N., J.F. Centurion, A.P. Silva, M.A.P.C. Centurion, C.L. Leonel, and O.S. Freddi. 2008. Soil compaction by

- machine traffic and least limiting water range related to soybean yield. *Pesq. Agropec. Bras.*, 43(11):1591-1600.
- Black, C.A. 1965. *Methods of soil analysis, Part I*. Am. Soc. Agron, Medison, USA.
- Campbell, C. A., V.O. Biederbeck, R.P. Zentner, and G.P. LaFond. 1991. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 71:363-376.
- Cho, B. O. 2000. Characterization of soil fertility and management practices of alpine soils under vegetable cultivations. Ph. D. Thesis, Kangwon national university, Chuncheon, Korea.
- Darcy, H. 1856. *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon*, Dalmont, Paris.
- Jung, K. H., W. T. Kim, S. O. Hur, S. K. Ha, P. K. Jung, and Y.S. Jung. 2004. USLE/RUSLE Factors for National Scale Soil Loss Estimation Based on the Digital Detailed Soil Map. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(4):199-206.
- Jung, P. K., M. H. Ko, J. M. Im, and K. T. Um. 1985. Discussion of cropping management factor for estimating soil loss. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 18(1):7-13.
- NIAST. 2000. *Soil and plant analysis*. (In Korean)
- OECD. 2008. *Environmental Performance of Agriculture in OECD countries since 1990, Chapter 1 : Section 1.5 Soil*, Paris, France.:84-91.
- Park, C. S. 2002. Soil management practices to reduce water erosion from the sloped farmland in highland. Ph. D. Thesis, Kangwon national university, Chuncheon, Korea.
- Park, C. S., Y. S. Jung, J. H. Joo, and J. E. Yang. 2004. Soil characteristics of the sapolite piled upland fields at highland in Gangwon province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(2):66-73.
- RDA. 2003. *Investigation and standard for agricultural experiment*. p.323-334. RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 2005. *Status of Fertilizer Application and Soil Management in farmers' Fields for Major Vegetable Crops in Alpine Area. The 2nd year completed cooperation report*, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- USDA, NRCS. 2004. *Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigation Report No. 42. Version 4.0*. USDA-NRCS, Washington.
- Yang, J. E., B. O. Cho, Y. O. Shin, and J. J. Kim. 2001. Fertility Status in Northeastern Alpine Soils of South Korea with Cultivation of Vegetable Crops. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(1):1-7.
- Zhang, Y. S., Y. K. Sonn, Y. H. Moon, K. H. Jung, H. R. Cho, and K. H. Han, 2014. Implication of Soil Minerals on Formation of Impermeable Layers in Sapolite Surface-Piled Upland Fields at Highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47(4): 284-289.