

Changes in Physical Properties Especially, Three Phases, Bulk Density, Porosity and Correlations under No-tillage Clay Loam Soil with Ridge Cultivation of Rain Proof Plastic House

Seung-Koo Yang*, Youn-Won Seo, Sun-Kook Kim, Byeong-Ho Kim, Hee-Kwon Kim, Hyun-Woo Kim, Kyung-Ju Choi, Yeon Soo Han², and Woo-Jin Jung^{1**}

Jeollanamdo Agricultural Research and Extension Services, Najusi 520-715, Korea

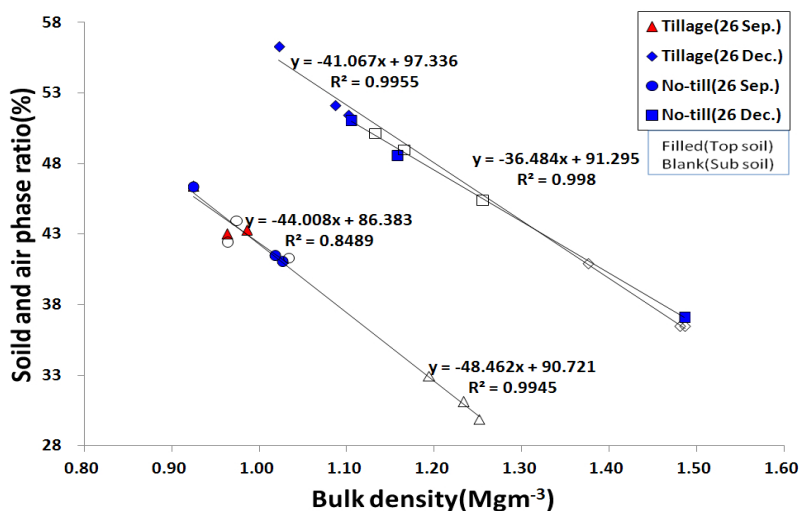
¹Division of Applied Bioscience and Biotechnology, Institute of Environmentally-Friendly Agriculture (IEFA), College of Agricultural and Life Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

²Division of Plant Biotechnology, Institute of Environmentally-Friendly Agriculture (IEFA), College of Agricultural and Life Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

(Received: February 11 2014, Revised: February 15 2014, Accepted: June 26 2014)

This study was carried out to investigate the sustainable agriculture of no-tillage technique including recycling of the ridge and the furrow of a field for following crops in Korea. No-tillage systems affect soil physical properties such as three phase (solid, liquid, and air phase) and distribution of soil granular. Solid ratio of subsoil in 3-year of no-tillage (NT) treatment was remarkably lower than that in conventional (CT, 2-year of no-tillage + 1-year of tillage) treatment, while air ratio of subsoil in NT remarkably increased. Bulk density of subsoil in NT remarkably decreased. Porosity of subsoil in NT remarkably increased. Deviation of air phase, bulk density, and porosity of top soil and subsoil in NT remarkably decreased in NT compared with CT. Solid phase ratio and liquid phase ratio in NT and CT had positive (+) correlation. Solid phase ratio and air phase ratio in NT and CT had negative (-) correlation, also liquid phase ratio and air ratio had negative (-) correlation. Bulk density and liquid ratio in soil had positive (+) correlation at top soil and subsoil in NT. Bulk density and air ratio in soil had negative (-) correlation in NT and CT. Porosity and liquid phase ratio had negative (-) correlation, $r=1$, the significant value was lower in NT than in CT. Porosity and air phase ratio had positive (+) correlation ($r=1$).

Key words: No-tillage, Bulk density, Porosity, Three phase of soil, Greenhouse



Relationships between the bulk density of soil and air phases of soil.

*Corresponding author : Phone: +82613302509, Fax: +82613364076, E-mail: sky3878@korea.kr

**Co-corresponding author : Phone: +82625303960, Fax: +82625302139, E-mail: woojung@jnu.ac.kr

Introduction

한반도에서는 BC 3,000년경에 사용된 돌보습이 출토되고, 삼국유사 노례왕 (AD 23~57년)과, 지증왕편 (AD 502년)에 쟁기에 (勸農始牛耕) 관한 기록으로 보아 오래 전부터 경운이 보편화된 것으로 생각된다 (Yang et al., 2011b). 경운은 인류의 문화 발전과 풍요에 가장 크게 공헌하여 왔으며, 우리나라는 과거 식량증산을 위하여 경운과 토양 비옥도 증진을 위한 연구가 주를 이루어 왔다 (Cho et al., 2012; Jung et al., 1998; Peters, 2000). 그러나 경운작업은 농기구가 대형화되면서 토양교란과, 토양의 염류농도 증가, 토양 물리성 악화, 지하수 오염 등 많은 역기능이 보고되고 있으나 (Cho et al., 2012; Derpsch, 2004; Frey et al., 1999; Kim et al., 2001), 우리나라는 수도작을 제외하고 무경운에 관한 연구가 미미한 실정이다.

특히 연 2~3회 이상 다기작 (多技作) 재배를 하는 시설 원예작물의 경우 경운의 준비 작업으로 하우스 내부 구조물 중 작물을 지지 고정하고 유인하는 지지대와 유인줄, 작물의 온·습도와 잡초 제어용 멀칭과 관수시설의 설치와 철거 작업을 작기 마다 반복하여야 한다. 그리고 트랙터와 같은 대형농기구를 이용하여 경운작업을 2회 정도 실시하여야 하며, 관리기를 이용한 두둑과 고랑의 형성 작업도 작기 마다 반복 된다 (Yang et al., 2011b; 2012). 이와 같은 육체적으로 힘들고 어려운 경운과 관련된 많은 작업들은 경운을 하기 위한 필수적인 조건들이다. 이때 기비로 투입된 유기물과 비료 등에서 많은 량의 가스와 먼지가 발생되며, 작업 시기도 대부분 가장 추운 겨울과 가장 더운 여름철에 이루어지는 가장 고통스럽고 힘든 악성노동으로 농업을 3D (dirty, difficult, dangerous) 업종으로 분류하게 하는 원인이 되고 있다.

한편 온난화에 따른 현상으로 추정되는 가을장마가 자주 발생하고 있는데, 2010년 9월의 강수량이 332 mm로 평년 대비 27% 증가되었으나, 배추 생산량은 40% 감소되었다 (NEAR, 2013). 이는 배추 정식기인 8월과 9월 장마로 경운작업이 지연되어 배추를 제때에 정식하지 못하여 나타난 현상으로 2010년부터 2012년까지 계속된 김장 배추 파동과 같은 농산물의 안정적 수급 문제를 야기 시키는 원인을 제공하기도 한다. 또한 경운 등 농업활동은 다양한 원료와 에너지 사용으로 천연자원 고갈과 환경오염 및 기후변화에 많은 영향을 끼치고 있다 (So et al., 2010). 이와 같은 경운에 문제점을 해소하기 위한 다양한 방법이 강구되고 있는데, Jung and Oh (1995)에 따르면 경사지 밭 토양에서 보전농법 수행 시 관행농법 대비 토양 유실 정도가 1/6, 물 유출량이 1/2, 양분 유실량은 1/3으로 감소한다고 하였다. 최근 아르헨티아에서는 무경운과 대중적인 보존경작이 실시되고 있는데, Fabrizzi et al. (2005)은 토양 깊이 3~8 cm와 13~18 cm에서 무경운

이 보존경운보다 용적밀도가 더 높았으며 침투저항성이 높게 나타났으나, 밀의 수확량은 두 처리간에 차이가 없었다고 하였다.

그리고 Warburton and Klimstra (1984)는 옥수수재배 지역에서 야생생물의 종과 개체수를 비교한 결과 무척추동물, 새, 미소동물이 작물재배 기간 동안 여러 지역에서 무경운이 관행경운 지역보다 풍부하였다며 무경운 토양은 무척추동물군 내에서 포식자 비율과 사슴쥐와 같은 다양한 작은 포유동물 개체군이 특히 증가되었다고 보고하였다.

이와 같은 무경운 농업에 대하여 Phillips and You (1973)은 종자를 덮기 위한 최소한의 토양교란 이외의 일체의 경운을 허용하지 않는 작물 재배방법을 무경운 재배라고 정의하였다. 무경운 재배는 흔히 보존경운 (conservation tillage)과 구별되는데 보존경운은 식물 잔사를 얼마나 남겨 토양을 피복시키는가에 주안점을 두는 반면, 무경운은 기계 투입에 의한 토양교란 여부에 그 무게의 중심을 두고 있다 (Kang et al., 2013). 경운방법은 관행경운 (conventional tillage), 쟁기경운 (moldboard plow), 최소경운 (reduced tillage), 무경운 (no-tillage), 두둑경운 (ridge till) 등으로 분류되며, 경운체계는 크게 관행경운, 부분경운 또는 최소경운 그리고 무경운으로 분류되고 있으나, 우리나라는 무경운에 관한 개념도 정리되어 있지 않은 상황이다 (Kang et al., 2013).

이러한 관점에서 노동 집약적이고 대형화된 현대 산업사회의 경운에 관한 개념과 고전적 의미의 경운은 구분하여야 할 필요가 있을 것 생각된다. 고전적 의미의 경운은 돌도끼와 쟁이, 삽 등 간단한 도구를 이용한 종자 파종과 축력과 동력을 이용한 이랑 및 고랑을 만드는 작업을 모두 포함하고, 현대적 의미의 경운은 축력과 동력 이용 여부로 구분할 수 있을 것으로 생각된다. 토양에 물리성을 크게 변화시키는 축력과 경운기, 트랙터 (Tractor) 등 동력을 이용하여 작물을 파종하게 정식하는 경우 현대적인 의미의 경운으로 분류하고, 토양에 물리성을 크게 변화 시키지 않는 모종삽과 호미 등 간단한 도구를 이용하여 작물을 파종하거나 정식하는 경우는 현대적 의미의 무경운으로 분류할 수 있을 것으로 생각되며 이에 대한 검토도 요청된다.

한편 무경운 재배는 아메리카 대륙을 중심으로 세계적으로 진행되고 있으며 면적은 2012년 현재 약 1억 2,700만ha 이상으로 추정되며 미국 (2,650만ha), 아르헨티나 (2,555만ha), 브라질 (2,550만ha), 호주 (1,700만ha)와 캐나다 (1,659만ha) 순으로 주로 아메리카에 집중되어 있다 (Kang et al., 2013). 그러나 우리나라에서 시도되고 있는 무경운농업 연구는 북미와 유럽과 같이 토지가 광활한 지역의 대형 농기구를 이용한 최소경운 방법, 그리고 남미의 안데스 산악지역과 아마존강 유역 등 농기계 산업이 발달되지 않은 지역에서 막대기 등 원시적인 도구를 이용한 농업 (Derpsch, 2004)과 차별화된 농업기술이다.

집중 호우가 많은 우리나라의 기후 특성상 원활한 배수를 위하여 두둑을 높게 만드는 기존의 관행농업에서 만들어진 이랑과 고랑을 재활용하여 동력과 축력을 사용하지 않고 다음 작물을 파종하거나 정식하는 기술 (Yang et al, 2011a; 2011b; 2012)을 한국형 무경운농업으로 Lee et al. (2012)은 규정하였다. 한편 무경운재배는 고추의 경우 국가평균과 비교하여 온실가스가 58%인 10a당 344.7 kgCO₂ 저감되며, 토양 물리성이 개선되고 생산비가 절감되며 소득이 증가되는 것으로 나타났다 (Lee et al., 2012; Yang et al., 2012).

전남에서 확산되기 시작한 시설원예 중심의 무경운농업은 세계 최초로 2012년부터 우리나라에서 “저탄소 농축산물 인증” 사업을 추진한 결과 2013년 현재 전남의 무경운농업은 전국 저탄소 농축산물 인증 경영체의 42%를 점유하는 등, 무경운농업이 저탄소 녹색기술로 알려지면서 전국으로 재배농가와 면적이 확대되고 있으나 (Lee et al., 2012; Yang et al., 2011b, 2012), 무경운재배는 경운의 잔류효과로 1기작 또는 1~2년 정도는 가능할지라도 2년 이상은 불가능할 것이라고 무경운 재배의 지속 가능성에 대한 의문이 제기되고 있다.

무경운에 대한 작물수량과 물리적 효과 조사자료는 빈약한 편이지만 (Gantzer and Blake, 1978; Kang et al., 2013), Vepraskas et al. (1995)은 1989년 마지막 경운을 실행한 후에 1990년부터 1992년까지 3년간 부분경운 (silt-till)과 심경, 무경운으로 토양을 관리하여 40 inch 깊이의 뿌리를 조사한 결과 첫해에는 경운에 의한 뿌리 발육에 효과가 있었으나, 3년째에는 거의 없었고, 무경운 처리는 뿌리의 관통도가 경운 처리에 비하여 양호하게 나타났다고 하였다. 이는 경운 첫해에는 거의 일어나지 않으나 2년 동안에 silt가 거의 채워지기 때문이라고 하였다 (Vepraskas et al., 1995).

그러나 우리나라 시설원예는 외국의 일반적인 농업과 달리 1~3회 이상 노동집약적인 다기작 재배가 주를 이루고 있어 장기적인 검토가 어렵기 때문에 3년 연속 무경운으로 재배한 토양과 무경운 2년 후 다시 경운하여 무경운의 효과를 상쇄시키면 무경운 지속재배 가능성을 유추할 수 있을 것으로 생각되었다. 따라서 본 시험은 앞그루 작물 재배에서 만들어진 기존의 이랑과 고랑을 재활용하여 무경운으로 고추를 2년간 재배한 토양을 경운한 처리와 3년 연속 무경운으로 관리한 토양의 물리성 변화를 구명 하고자 본 시험을 수행하였다.

Materials and Methods

토양 및 재배관리 본 시험은 전라남도 나주시 산포면 산제리에서 2009년부터 경운하지 않고 무경운으로 고추를 재배하고 있는 비가림 시설재배 미사질양토를 (미사 54.3%, 점토 22.1%, 모래 23.6%) 이용하여 무경운 2년 후 경운 (무

경운 기간 : 2009~2010년, 2011년 2월 15일 경운)한 처리와 3년 연속 무경운 (무경운 기간: 2009~2011년)으로 토양을 관리하였다.

경운처리는 시설하우스에서 일반적으로 사용되는 농업용 소형 트랙터(대동 L2202-4WD)를 이용하여 표토에서 12 cm 깊이로 2월 20일과 7월 30일 2회 로타리 경운을 실시하였다. 관수방법은 농업용 소형 모터펌프로 처리에 관계없이 동일한 시기에 동일한 양을 관수하였으며 각각 동일한 시비 조건으로 관리하였다. 봄 작형은 2011년 2월 25일 145 × 50 cm로 10a당 1,379주를 정식하여 7월 12일까지, 가을 작형은 8월 1일 145 × 40 cm로 10a당 1,724주를 정식하여 시험을 수행하였다.

토양 물리성 조사 토양의 물리성 중 토성은 비중계법 (Hydrometer)으로 조사하고 토양 삼상은 표토를 1 cm 정도 제거하고 100 mL 메탈링을 이용하여 표토는 토양표면에서 12 cm 깊이까지, 심토는 12~24 cm 깊이에서 Core를 채취하여 토양의 고상율, 액상율, 기상율을 Core법으로 조사하고 용적밀도, 공극율을 분석하였다. 토양 삼상과 용적밀도, 공극율의 표토와 심토의 편차를 구하여 토양 깊이에 따른 편차를 구하였다. 그리고 고상, 액상, 기상율과 용적밀도, 공극율 각각의 상관관계를 분석하였다. 토양 시료는 경운 전인 2월 15일과 9월 26일, 그리고 12월 26일에 각각 3반복으로 토양시료를 채취하여 조사하였다.

통계분석 본시험의 통계분석은 SAS 9.2 (Statistical Analysis System Institute Inc. 2002) package를 이용하여 분석하였으며, 처리간 유의성은 “Tukey’s Honestly Significant different Test”를 이용하여 검정하였다.

Results and Discussion

경운 방법에 따른 토양의 삼상 변화

토양의 고상율 한국 농업의 가장 큰 특징이라 할 수 있는 높은 이랑재배의 장점을 재활용하기 위한 기초자료를 수집하기 위하여 무경운으로 2년간 관리한 토양을 경운한 처리와 3년 연속 무경운으로 관리한 토양의 물리성을 조사한 결과(Fig. 1(a)) 처리 7개월 후 경운 표토의 고상율은 36.1%로 3년 연속 무경운 표토 46.3%보다 낮았으나, 경운 심토의 고상율은 46.3%로 무경운 심토 37.2%에 비하여 증가되었다. 처리 10개월 후에 조사한 경운 표토의 고상율은 40.4%, 무경운 표토의 고상율은 47.2% 수준으로 경운 토양에 비하여 높았다. 그리고 경운 심토의 고상율은 54.6%로 증가되었으나 무경운 심토의 고상율은 44.7%로 경운토양에 비하여 현저하게 낮았다(Fig. 1(a)).

일반적으로 토양은 경운을 하지 않으면 식물의 뿌리와

토양 미소동물, 미생물의 활동으로 대소 공극이 증가되는데 (Gantzer and Blake, 1978; Linn and Doran, 1984), 대소공극의 증가는 고상율과 용적밀도가 감소된 현상으로, Eileen et al. (1997)은 일리노이주와 인디애나주의 다양한 장기 무경운 토양에서 관행 경운지역 보다 지렁이의 개체군이 많았다고 하였으며, Drees et al. (1994)은 무경운 구역의 모든 깊이에서 지렁이 통로에 배설물이 풍부하게 충전되어 있었으나, 관행 경운 토양은 알갱이와 파열된 판상구조로 지렁이 활동의 증거가 없었다고 하였다. 따라서 미소동물 활동도 경운을 하지 않고 무경운으로 관리한 토양의 고상율을 감소 시키는 한 원인으로 추정되었다.

한편 Park et al. (1997)은 봄과 가을에 2년간 심토파쇄 처리 후 토양에 삼상을 조사한 결과 표토는 토양관리에 의한 효과를 제외하면 의미가 없었다고 하였으며, Martinez et al. (2008)는 4년과 7년 된 관행 토양과 무경운 토양의 물리성과 식물 뿌리의 성장, 밀 수확량을 조사한 결과 침투력 저항성은 경운보다 무경운에서 더 높았고 토층 5 cm까지 뿌리의 밀도는 경운보다 무경운이 더 많았으며, 장기 무경운재배는 입단의 안정성을 증가시키며 무경운의 효과는 토양 표면 근처에서 더 뚜렷하게 나타났다고 보고하였다.

동일한 깊이의 토양에서 표토와 심토의 물리성과 화학성의 편차가 크면 토양이 균일하지 못하고, 표토와 심토의 편차가 적다면 토양이 균일하게 발달된 토양으로 생각할 수 있을 것이다. 따라서 토양삼상의 표토와 심토 차이를 분석

한 결과, 경운 표토의 고상율은 40.4%, 심토는 54.6%로 표토와 심토의 편차가 14.2% 수준이었으나, 3년 연속 무경운 표토의 고상율은 47.2%, 심토는 44.7%로 편차는 2.5%로 경운토양에 비하여 현저하게 적었다. 한편 Kim et al. (2010)은 경북지방 밭 토양의 물리성을 조사한 결과 고상율이 사양질의 표토는 42.1%, 심토는 60%, 식양토의 표토는 51.1%, 심토는 54.8%로 나타났다고 보고하였다. 이와 같은 표토와 심토의 고상율의 편차를 필자가 계산하여 본 결과 사양질은 17.9%, 식양질은 3.7%로 높게 나타나, 본 시험 경운 토양의 표토와 심토의 편차 14.3%와 유사한 경향을 보였으나, 무경운 토양의 2.5% 비하여 현저하게 높았다. 따라서 본 시험의 무경운 토양에서 표토와 심토의 고상율 편차가 감소된 점은 무경운 토양관리로 작토층이 깊어져서 경운토양에 비하여 물리성이 개량된 결과로 생각되었다.

토양의 액상율 처리 7개월 후에 조사한 액상율은 경운 심토가 2.2% 높은 점을 제외하면 유의적인 차이가 없이 모든 처리에서 감소되었다(Fig. 1(b)). 이와 같이 전반적으로 액상율이 감소된 원인은 고추 수확이 끝난 11월부터 관수를 중단한 원인으로 생각되었다. 그리고 Kim et al. (2001)은 시설하우스 토양의 물리성 개선을 위하여 심토파쇄, 심토반전, 암거배수 처리의 토양수분 분포를 조사한 결과 처리 직후에는 염류농도 저하 효과가 높게 나타났다. 그러나 점차 반전되어 1년 6개월 정도 후에는 무처리에 비하여 염류농도

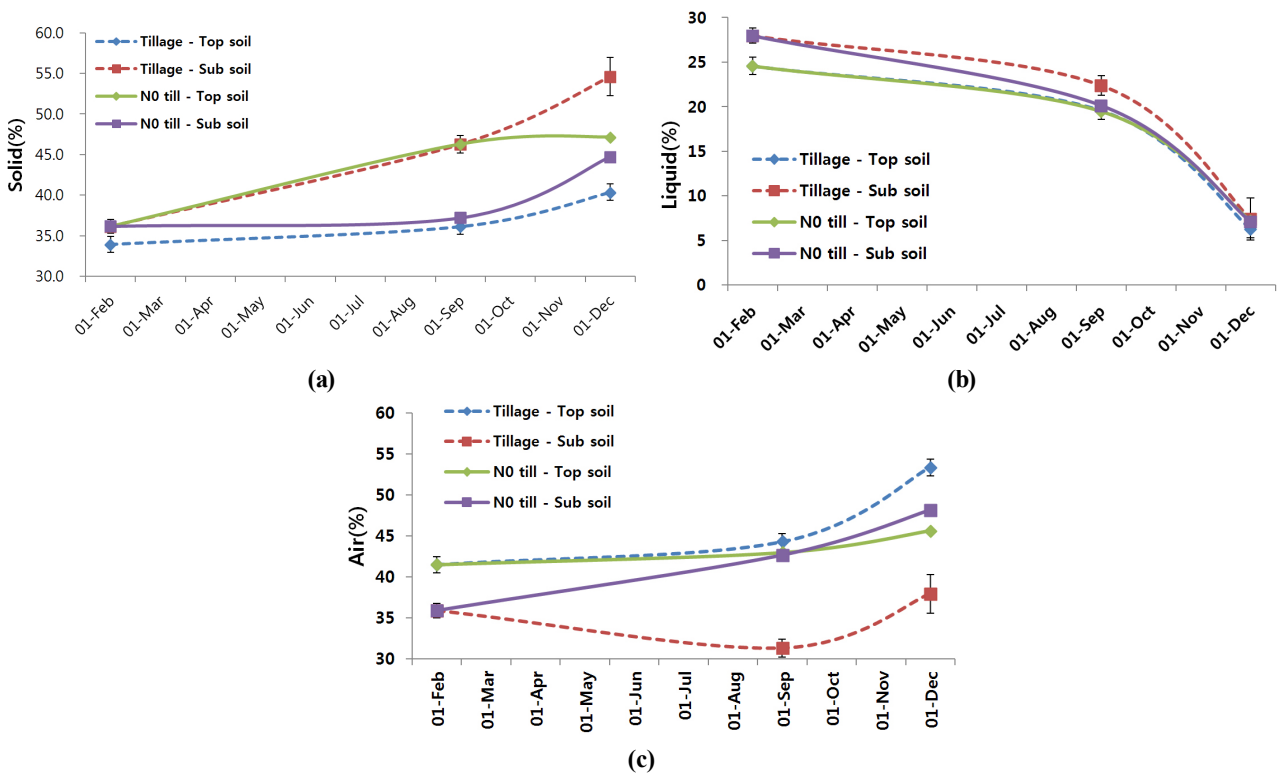


Fig. 1. Changes of three phases of soils by the tillage methods in rain proof plastics house. Results are means ± SD of triplicate measurements.

가 증가되었다며, 토층을 부드럽게 하는 물리성 개선이 토층 내 모세관을 교란시켜 하층수의 상부 이동을 방해하기 때문이라고 하였다 (Kim et al., 2001). 그리고 Park et al. (1997)은 심토파쇄 처리시 일시적으로 토양수분 함량이 부족될 수 있다고 하였는데, 경운 표토는 대형농기계 사용으로 토양의 입자가 분상으로 잘게 부서져서 수분의 증발산량이 증가되며, 심토는 대형농기계의 하중으로 토양이 다져지고 (Jo, 1985) 경운층에서 모세관 연결이 끊어지기 때문에 심토로부터 수분이동이 원활하지 못하여 나타난 현상으로 생각된다고 하였다. 한편 무경운과 부분경운의 biochannels과 부패된 뿌리 등은 토양에서 물의 이동과 같은 중요한 도관 역할을 하기 (Kladivko et al., 1986; Singh et al., 1995) 때문에 기상과 액상이 증가되고 고상이 감소된다. 따라서 공극은 기상과 액상에 의해서 결정되는데, Sauwa et al. (2013)은 무경운과 최소경운의 표토의 포화수리전도도가 관행경운과 비교해서 높았고 무경운과 최소경운의 침투율은 관행경운에 비하여 증가되었다고 하였다. 따라서 시설재배에서 경운방법에 따른 수분이동에 관한 연구가 필요한 것으로 생각되었다.

토양의 기상율 처리 7개월 후에 조사한 표토의 기상율은 (Fig. 1(c)) 44.3%로 처리 전 41.5% 보다 2.8%, 무경운 표토는 43%로 처리 전 보다 1.5%가 증가되었다. 그리고 경운 심토의 기상율은 31.3%로 4.6% 감소되었으나, 무경운 심토는 42.7%로 6.8%가 증가되었다. 처리 10개월 후의 기상율이 무경운 표토는 45.6%, 경운 표토는 53.3%로 무경운 토양에 비하여 증가되었다. 그러나 경운 심토의 기상율은 38.0%로 2.1% 증가에 그쳤고 무경운 심토는 48.2%로 같은 기간에 12.3% 정도가 증가되어 경운 심토에 비하여 무경운 심토의 기상율은 현저하게 증가되었다.

일반적으로 작물 재배 토양은 고상율 50%, 액상과 기상율은 각각 25% 수준으로 알려져 있고 토양의 기상율은 기공과 관계가 있는데, Drees et al. (1994)은 무경운 토양 기공의 직경은 0.18~0.26 mm로 관행 경운 기공의 직경 0.12~0.17 mm 보다 크고, 양질의 내수성입단 (aggregate) 크기가 무경운 토양은 0.41~1.08 mm로 경운 토양의 0.25~0.39 mm보다 크기가 증가되었다고 하여 본 시험에서 무경운 토양이 경운 토양에 비하여 기상율이 증가된 원인으로 생각되었다.

경운 방법에 따른 표토와 심토의 기상율의 편차는 경운 토양은 15.4%였으나, 무경운 표토는 2.5%로 경운토양에 비하여 현저하게 감소되었다. 한편 Cho et al. (2012)은 논 토양 230지점의 삼상을 조사한 결과 표토의 액상은 39.0%, 기상은 14.2%, 심토의 액상은 35.5%, 기상은 9.1%라고 하였다. 액상과 기상은 부의 상관성이 있기 때문에 액상이 증가된 논토양에서 기상이 감소된 결과로 본 시험에서 액상율은 처리 전 24.6~28.0% 수준이 고추 수확이 완료된 11월부터 관

수를 중단하고 토양시료를 채취한 관계로 액상율은 6.3~7.4%까지 감소되어 상대적으로 기상율이 증가된 것과 유사한 결과로 생각되었다. 따라서 무경운 심토가 경운 심토에 비하여 고상율이 낮아지면 용적밀도가 낮아지고 공극율이 증가되어 배수가 용이하고 보수력을 양호하게하여 작물의 뿌리 활동이 원활하기 때문에 (Jung and Lim, 1989) 무경운 토양 관리로 토양환경이 양호하게 변화되고 있는 증거로 생각되었다.

경운 방법에 따른 토양의 용적밀도와 공극율

토양의 용적밀도 Chaplain et al. (2011)에 의하면 토양구조와 기계적인 저항 개선에 무경운은 대단한 충격을 주고 있으며 작물재배 환경 및 수수에 영향을 미치는 토양구조는 용적밀도와 수분함량 그리고 모세관력에 의존한다. 토양의 용적밀도는 보수성과 통기성 및 물의 이동, 뿌리의 활력과 토양 미생물 활동 등에 영향을 미치며 (Kim et al., 2001), 토성과 토양구조에 따라 달라진다. 퇴비의 연용 및 투입량, 가축분 사용 (Schjinning et al., 1994) 그리고 옥수수 수와 같이 뿌리량이 많은 작물재배는 용적밀도를 감소시켜 토양 물리성을 개선시킨다. 그리고 Kim et al. (2010)은 밭작물의 토양 물리성 지표관련 인자의 상관성을 분석한 결과 토양의 공극율은 용적밀도 및 토양 경도와 부(-)의 상관성을 나타냈었다며, 공극율과 용적밀도를 감소시키기 위한 토양 개량을 위하여 유기물을 사용한다고 하였다.

이와 같은 관점에서 3년 연속 무경운과 경운토양 표토의 용적밀도는 (Fig. 2(a)) 처리 전 0.9 Mg m^{-3} 이 경운과 무경운 토양 공히 1.0 Mg m^{-3} 으로 유의적인 차이가 없었다. 그러나 처리 7개월 후 심토의 용적밀도가 경운토양은 0.96 Mg m^{-3} 에서 1.23 Mg m^{-3} 로 증가되었으나, 3년 연속 무경운 토양은 1.0 Mg m^{-3} 으로 경운 토양에 비하여 현저하게 낮았다. 그리고 처리 10개월 후 무경운 심토의 용적밀도도 1.18 Mg m^{-3} 으로 경운 표토 1.45 Mg m^{-3} 에 비하여 현저하게 낮았다. Vepraskas et al. (1995)에 의하면 경운 처리는 시간의 경과에 따라서 용적밀도가 증가되지만 무경운 처리 3년 차에서 경운 처리에 비하여 용적밀도가 유의성 있게 감소되었다고 하여 본 시험과 유사한 경향을 보였다.

경운 표토의 용적밀도는 1.07 Mg m^{-3} , 심토의 용적밀도는 1.45 Mg m^{-3} 으로 표토와 심토의 편차가 0.38 Mg m^{-3} 이었으나, 무경운 표토와 심토 편차는 0.07 Mg m^{-3} 으로 경운 토양에 비하여 현저하게 낮았다. Cho et al. (2012)은 전국 농경지를 이용 형태별로 토양의 물리성을 조사한 결과 시설 토양의 용적밀도가 표토는 $0.87\sim 1.17 \text{ Mg m}^{-3}$ 으로 평균 1.09 Mg m^{-3} , 심토는 $1.11\sim 1.44 \text{ Mg m}^{-3}$ 이라고 하여 본 시험의 경운 토양 표토와 심토의 결과와 같은 경향이었으나, 무경운 심토는 Cho et al. (2012)의 결과보다 현저하게 낮았는데 이는 무경운 토양관리의 효과 (Linn and Doran, 1984)로 생

각되었다.

한편 용적밀도와 식물 뿌리의 생육은 밀접한 관계가 있는데, 생육이 현저하게 저하되는 용적밀도를 완두콩은 용적밀도 1.6 Mg m^{-3} 이상 (Jo et al., 1977), 수도작 벼는 양토 1.5 Mg m^{-3} , 식양토 1.4 Mg m^{-3} 이상, 건답직파는 2 Mg m^{-3} 이상에서 근 발달이 현저하게 저하된다 (Kwon, 1996). 그리고 Hyun et al. (2001)은 시설하우스 토양관리 우수 농가의 용적밀도는 인근 농가에 비하여 낮았으며 이는 작물의 뿌리가 쉽게 근권을 확보하고 양수분의 공급을 용이하게 할 수 있기 때문이라고 하였다. 또한 토양의 용적밀도와 경도가 낮은 토양의 고추 생육은 양호하고 대두의 수량이 증가 (Hur, 1992; Jo et al., 1987; Kim et al., 2010)되기 때문에, 고추 유기재배에서 경운에 비하여 무경운재배의 고추 수량이 증수된 (Yang et al., 2012) 원인으로 생각되었다.

토양의 공극율 토양의 공극율은 경운형태와 퇴적물의 변형에 의한 구멍 형태, 용적 공극 그리고 바닥층 구조와 작은 공극 등과 관계가 있다 (Kivecither and Meer, 2008; van der Meer, 1993; 1996). 처리 7개월 후에 조사한 표토의 공극율은 (Fig. 2(b)) 경운 토양에서 63.9%로 2.2% 감소되었고, 무경운 토양은 62.5%로 3.6% 감소되었다. 그리고 경운 10개월 후 표토의 공극율은 59.7%, 무경운 토양은 52.9%로 경운 토양에 비하여 표토의 공극율이 낮았다. 그러나 심토의 공극율은 처리 7개월 후 경운 토양은 53.7%, 무경운 토양은 62.8% 수준이었고 처리 10개월 후 경운 심토의 공극율은 45.4%, 무경운 심토는 55.3% 수준으로 심토의 공극율은 무경운 토양이 경운한 토양에 비하여 현저하게 많았다.

휴경은 토양구조와 토양수분 특성 개량에 긍정적인 작용을 하지만, 옥수수재배와 자연휴경에서 관행경운이 무경운보다 공극율을 낮추며 공극밀도를 지속시키지 못하지만 (Nyamadzawo et al., 2008) 무경운 토양은 경운토양에 비하여 지렁이와 작은 뿌리의 분해에 의한 통로의 개수가 증가되기 때문에 (Gantzer and Blake, 1978) 본 시험의 무경운 토양이 경운

토양에 비하여 공극율이 증가된 원인으로 생각되었다. 그리고 Jo et al. (1987)은 고추의 생육과 물리성의 상관을 분석한 결과 고추 생육이 양호할수록 표토와 심토 공극 용적밀도는 1.32 Mg m^{-3} 이하로 낮고 공극율은 50% 이상으로 높았다고 하여, 본 시험과 유사한 경향을 보였다.

한편 본 시험 공극율의 표토와 심토 편차가 경운 토양은 14.2%였으나, 무경운은 2.4%로 경운 토양에 비하여 무경운 토양에서 현저하게 감소되었다. 한편 Park et al. (1997)에 의하면 사과재배 과수원에서 대형농기계를 이용한 2회 심토파쇄 처리의 공극율은 심토 파쇄 전에 비하여 사양토의 표토는 1.8% 감소되고, 심토는 10.7% 증가되었으며, 식양토는 심토 파쇄 전에 비하여 표토의 공극율은 1.2% 감소되었으나, 심토는 4.2% 정도 증가되었다고 하였다. 따라서 Park et al. (1997)의 결과를 필자가 계산한 결과 심토 파쇄 전에 비하여 심토 파쇄 후에 공극율의 표토와 심토 편차가 감소되었다.

경운 표토가 무경운 토양에 비하여 처리 초기에 용적밀도가 감소되고 공극율이 증가된 원인은 트랙터 (Tractor)와 같은 대형농기계로 토양을 경운할 때 로타리 (Rotary) 날의 빠른 회전으로 토양의 입자가 단립 (單粒)으로 잘게 부서져 분상 (粉狀)이 되고 고상율이 낮아짐에 따라서 가루상태 분상의 토양입자는 고상율과 용적밀도가 낮고 공극율이 증가되었을 것이다. 그러나 이 분상의 토양입자는 진정한 의미의 공극이 아니고 재배기간 동안 시간이 경과됨에 따라서 처음에는 토양이 가라앉아 다져지게 되면서 중력과 물리적인 답압 (踏壓)에 의하여 (Jo et al., 1985) 무경운 토양의 표토가 용적밀도와 고상율이 높아지며 공극율이 감소되고 토양의 경도가 증가되었을 것이다. 그러나 계속하여 무경운으로 토양을 관리하게 되면 분상의 토양입자는 재배기간 동안에 관수와 시비 등 시간이 흐름에 따라서 토양 입자간의 응집력, 미생물의 작용 (Linn and Koran, 1984; Lim et al., 1984), 곤충의 활동과 배설물, 작물의 뿌리에 (Gantzer and Blake, 1978) 의하여 떼알구조가 형성되면서 경반층이 약화

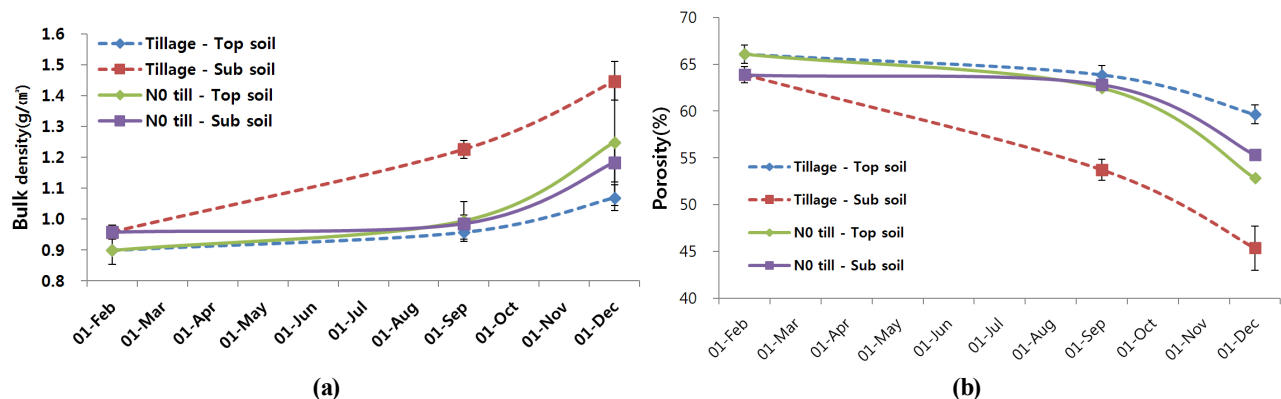


Fig. 2. Changes of bulk density and porosity ratio of soils by the tillage methods in rain proof plastics house. Results are means \pm SD of triplicate measurements.

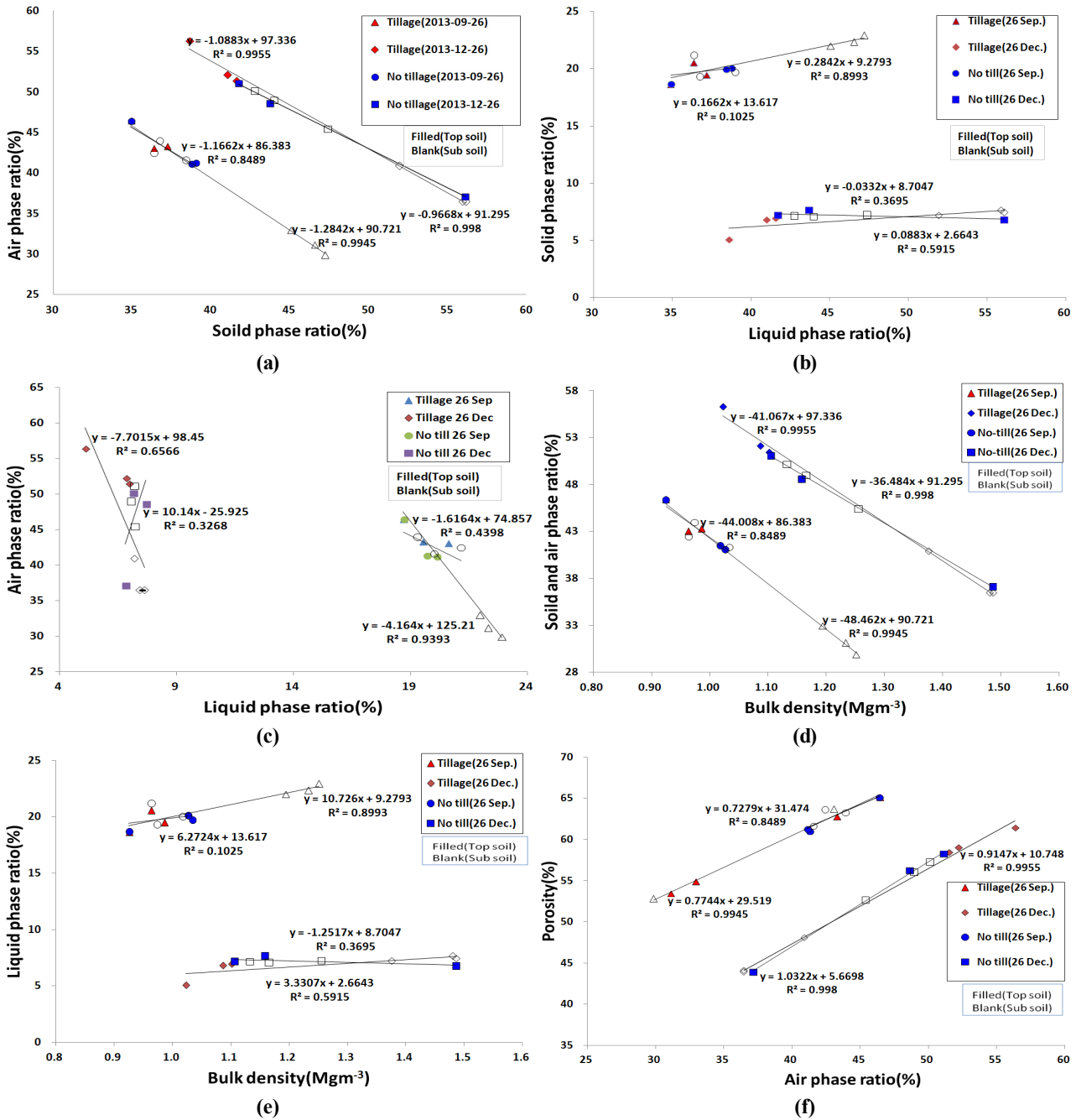


Fig. 3. Relationships between the each bulk density, porosity ratio of three phases of soils. Values are means \pm S.E. Significance levels of the liner correlation coefficients were denoted by $P < 0.05$.

되어 무경운 토양의 심토가 경운토양에 비하여 장기적으로 용적밀도와 고상율이 감소되고 공극율은 증가되었을 것으로 생각되었다.

한편 Kim et al. (2004)에 의하면 통기성은 토양수분 흐름과 토양구조 유지에 매우 중요하다며, 유기성 물질 사용에 의해 용적밀도 감소, 통기성 증가, 대공극률의 증가, 전단저항 감소 등 물리성 개선 효과가 나타났으나, 구조가 약한 조사양토에서 유기성 물질의 사용에 의한 물리성 개선 효과가 뚜렷하지 않았다고 하였다. 그리고 Kim et al. (2001)은 시설하우스 토양의 물리성 개선을 위하여 심토파쇄, 심

토반전, 암거배수 처리의 토양수분 분포를 조사한 결과 토양수분에 별다른 차이가 없었다고 하였다. 이와 같은 현상에 대하여 토층을 부드럽게 하는 물리성 개선이 처리 직후에는 염류농도 저하효과가 높게 나타났으나, 점차 반전되어 1년 6개월 뒤에는 무처리에 비하여 염류농도가 증가되었다며 물리적 처리에 의한 토양 모세관 파괴로 하층수의 상부이동을 방해하기 때문이라고 하였다 (Kim et al., 2001).

그러나 본 시험의 3년 연속 무경운 토양에서 심토의 용적밀도와 고상율이 경운 토양에 비하여 낮아지고 공극율이 현저하게 증가되어, 무경운 연속재배는 심토파쇄보다 더 긍정

적인 토양 물리성 개량효과가 있는 것으로 추정되었다. 따라서 앞그루작물 재배에서 높게 만들어진 이랑과 고랑을 재 활용하는 무경운 지속재배는 유기물 시용과 심토파쇄를 대체할 수 있는 새로운 물리성 개선 기술로 보다 체계적인 검토가 요청되었다.

토양의 상관 관계 토양 물리성의 상관관계를 살펴보면 고상율은 압밀도와 관계가 있고 압밀도는 용적밀도와 관계가 있기 때문에 경운방법에 따른 토양의 고상율과 기상율 (Fig. 3(a)), 용적밀도와 기상율은 (Fig. 3(d)) 부(-)의 상관으로, 기상율과 공극율은 (Fig. 3(f)) 정(+)의 상관으로 나타났다. 고상율과 기상율의 상관계수 r 값이 경운 토양은 시기에 관계없이 0.997 수준이었고 무경운은 r 값이 시기에 따라서 0.921 (9월)과 0.999 (12월) 수준이었다. 한편 Cho et al. (1997)은 토양의 용적밀도와 토양경도는 고도의 유의성을 갖는다 ($r=0.482^{**}$)고 하였으며 토양경도와 용적수분 함량은 부의 상관으로 $r = 0.394^{**}$, 0.210^{**} 으로 고도의 유의성을 나타내었으나 r 값이 낮은 이유는 토양내에 자갈의 함량이 높아 토양내에 공극을 증가시키고 토양경도를 저하시킨 때문이라고 하였다.

액상율과 기상율에 의하여 공극율이 결정되기 때문에 액상율과 기상율은 (Fig. 3(c)) 부(-)의 상관으로 나타났으며, 상관계수 r 값이 경운은 $r = 0.969$ (9월), 0.810 (12월), 무경운은 $r = 0.663$, 0.571 수준으로 경운 토양에 비하여 무경운 토양의 r 값이 적었다.

고상율에 의하여 용적밀도 (정의상관)와 공극율 (부의상관)이 결정되므로 경운방법에 관계없이 상관계수 r 값은 1로 나타났다 (data not shown). 토양에 고상율 증가는 용적수분함량을 증가시키기 때문에 고상율과 액상율 (Fig. 3(b)), 용적밀도와 액상율은 (Fig. 3(e)) 정(+)의 상관으로 나타났으나 유의성이 낮았다.

무경운 토양은 경운토양에 비하여 용적밀도와 수분함량이 증가되고 토양 산소의 발산을 통해서 토양공극의 수분함량과 잠재적 수분이 증가되는데 (Linn and Doran, 1984), 용적밀도는 작물재배와 수확과 같은 시간의 경과에 따라서 크게 변화되며 강우와 관계가 있다 (Vepraskas et al., 1995; Cassel, 1981). Cho et al. (2011)은 토성별 용적밀도에 따른 공극 특성을 분석한 결과 용적밀도가 증가됨에 따라서 공극율이 감소되어 부(-)의 상관으로 식양토는 $r = 0.91$, 사양토는 $r = 0.83$ 으로 나타났으며, 식양토가 사양토에 비하여 용적밀도 증가에 따른 공극율의 감소가 크게 나타났다고 하였다. 그리고 Cho et al. (1997)은 용적밀도와 용적수분함량은 정의상관 ($r=0.437^{**}$)으로 1% 이내의 고도의 유의한 상관관계를 나타내었으며, 토양의 압밀화 현상이 진행에 따라서 토양 통기성에 관계하는 조공극이 줄어들면서 보수력에 관계하는 모관공극의 증대로 토양에 함유된 용적수분 함량을

증가시키기 때문이라고 하였다. 또한 토양 수분함량과 용적밀도는 정(+)의 상관으로 용적밀도가 증가됨에 따라서 대공극은 줄어들지만 소공극량은 늘어나 수분 흡수력이 증가한다 (Taylor et al., 1966; Kim et al., 2010). 그리고 대공극은 토양침투와 직접적으로 관계가 있고 (Nyamadzawo et al., 2008; Wang et al., 1986) 경운에 의해서 토양특성이 바뀌기 때문에 (Elwell, 1992; Beare et al., 1994), 무경운 표토에서 경운토양과 비교하여 용적밀도, 용적수분 함량, 공극의 수분함량과 토양의 호기성균이 유의성 있게 증가된다 (Linn and Doran, 1984). 이상의 결과는 본 시험과 유사한 경향으로 생각되었으나, Jo et al. (1984)은 용적밀도가 수분함량이 증가될수록 감소되었고, 사양토는 변화폭이 적었다며 토양 조건에 따라 다른 결과를 보고하였다.

Conclusion

경운은 인류 역사에 가장 큰 공헌을 하였으나 최근 대형 농기계를 이용한 경운 로타리 작업은 토양 물리성을 악화시켜 양수분의 이용을 저해하는 등 작물생산에 부정적인 영향을 끼친다고 알려져 있다. 이와 같은 관점에서 동력과 축력을 사용하지 않고 기존의 관행농업에서 만들어진 이랑과 고랑을 재활용하여 다음 작물을 파종하고 정식 하고자 개발된 무경운 농업기술의 지속 가능성을 검토하고자 본 시험을 수행하였다.

비가림 시설 하우스 토양에서 무경운 2년 후 경운한 토양과 3년 연속 무경운으로 관리한 토양의 물리성 변화를 조사한 결과 무경운 토양은 경운토양에 비하여 심토의 고상율은 현저하게 낮았으며, 기상율은 현저하게 증가되었다. 따라서 무경운 심토의 용적밀도는 경운 토양에 비하여 현저하게 감소되었으며, 심토의 공극율은 경운 토양에 비하여 현저하게 증가되었다. 그리고 무경운 토양의 표토와 심토의 편차는 고상율과 기상율, 용적밀도, 공극율은 공히 경운 토양에 비하여 현저하게 감소되었다.

토양의 고상율과 액상율은 정(+)의 상관, 고상율과 기상율, 액상율과 기상율은 부(-)의 상관관계를 나타내었으며, 경운 토양에 비하여 무경운 토양은 유의성을 낮았다. 토양의 용적밀도와 액상율은 정(+)의 상관, 용적밀도와 기상율은 부(-)의 상관을 나타내었으며, 경운과 무경운 토양 공히 고도의 유의성을 나타내었다. 공극율과 액상율은 부(-)의 상관으로 경운에 비하여 무경운 토양은 유의성이 낮았으나, 공극율과 기상율은 정(+)의 상관으로 경운과 무경운 토양 공히 유의성이 높았다.

이상의 결과로 비가림 시설 하우스 토양을 무경운으로 관리하면 대형농기계 사용으로 인한 답압이 생략되어 심토의 용적밀도와 고상율이 감소되고 공극율이 증가되어 토양에 물리성 개선 효과가 큰 것으로 판단되었다.

References

- Beare, M.H, P.F. Hendrix, and D.C. Coleman. 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:777-786.
- Cassel, D.K. 1981. Effects of soil characteristics and tillage practices on water storage and its availability to plant roots. p. 167-186. In C.D. Raper, Jr., and P. J. Kramer (ed.) *Crop reactions to water and temperature stresses in humid, temperate climates*. Westview Press, Boulder, CO.
- Cho, J.H., and K. R. Kim. 1997. Effect of bulk density, volumetric water content on hardness in prepared sandy loam. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 30:46-50.
- Cho, H.R., K.H. Han, Y.S. Zhang, and S.H. Jeon. 2011. Characteristics of soil porosity from bulk density by soil texture. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. Fall Season Symposium*. Oct. pp. 133.
- Chaplain, V., P. Défossez, G. Richard, D. Tessier, and J. Roger-Estrade. 2011. Contrasted effects of no-till on bulk density of soil and mechanical resistance. *Soil Till. Res.* 111:105-114.
- Cho, H.R., Y.S. Zhang, K.H. Han, H.J. Cho, J.H. Ryu, K.Y. Jung, K.R. Cho, A.S. RO, S.J. Lim, S.C. Choi, J.L. Lee, W.K. Lee, B.K. Ahn, B.H. Kim, C.Y. Kim, J.H. Park, and S.H. Hyun. 2012. Soil physical properties of arable land by land use across the country. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:344-352.
- Derpsch, R. 2004. History of crop production with and without Tillage. *Leading edge, The journal of no-till agriculture*, published by no-till on the plains Inc., Wamego KS, 3:150-154.
- Drees L. R., L. P. Wilding, A. D. Karathanasis, and R. L. Blevins. 1994. Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils. *Soil Sci. Soc. Am J.* 58:508-517.
- Eileen J., Klavivko, M. Neela., Akhouri, and G. Weesies. 1997. Earthworms populations and species distributions under no-till and conventional tillage in Indiana and Illinois. *Soil Biol. Biochem.* 29:613-615.
- Fabrizzi, K.P. , F.O. García, J.L. Costa, and L.I. Picone. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81:57-69.
- Frey, S. D., E. T. Elliott, and K. Paustian. 1999. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biol. Biochem.* 31:573-585.
- Gantzer C. J, and G. R. Blake. 1978. Physical characteristics of le Sueur clay loam soil following no-till and conventional tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70(5):853-857.
- Hur, B.K. 1992. The effect of annual changes of soil physico-chemical properties on the yield of soybean on the newly-reclaimed land. *R.D.A. J. Agri. Sci.* 34:25-29.
- Hyun, B. K., L. Y. Kim. M. S. Kim, and H.J. Jo. 2001. Case study of good management in plastic film-house cultivation. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 34(2):98-104.
- Jo, I.S., B.K. Hur, L.Y. Kim, Y.K. Cho, and K.T. Um. 1987. Soil physico-chemical properties of red pepper fields and plant growth. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 20(32):205-208.
- Jo, I.S., K. B. Min, L.Y. Kim., J.N. Im, and K.T. Um. 1985. Effects of tillage methods on the changes of soil physical properties and yields. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 18:189-193.
- Jo, I.S., S.J. Cho, and J.N. Im. 1977. A study on penetration of pea seedling tap roots influenced by strength of soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 10:7-12.
- Jo, I.S., L.Y. Kim, Y.K. Cho, J.N. Im, and K.T. Um. 1984. Effects of soil physical properties on workability of agricultural machineries in paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 17(2):155-160.
- Jung, B.G., G.H. Jo E.S. Yun, J.H. Yoon, and Y.H. KIM. 1998. Monitoring on chemical properties of bench marked paddy soils in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31:246-252.
- Jung P.K. and S.J. Oh. 1995. Soil and water conservation of sloped farmland in Korea. In *proceedings of soil conservation and management for sustainable slope land farming*. Ping-tung, Taiwan: 15-2-15-15
- Jung, Y. S. and H. S. Lim. 1989. Influence of soil texture and bulk density on root growth characteristics influx rate of soybean plant. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 22:22-227.
- Kang, H.W., M.T. Kim, K.S. Kim, W.T. Jeon, J.H. Ryu, and K.Y. Seong. 2013. No-till farming system: research direction and outlook in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46:143-152.
- Kim, L.Y., H.J. Cho, and B.K. Han, and W.P. Park. 2001. The Effect of physical improvement practices at plastic film house soil. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 34:92-97.
- Kim, L.Y., H.J. Cho, K.H. Han. 2004. Changes of physical properties of soils by organic material application in farm land. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 37:304-314.
- Kim, C.Y., Y.J. Seo, T.Y. Kwon, J.H. Park, M.S. Heo, and S.K. Ha. 2010. Correlation between the of soil physical property in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:793-797.
- Kiviecither, A. A., and J. J. M. van der Meer. 2008. Pore size, shape and connectivity in tills and their relationship to deformation processes. *Quaternary Sci. Rev.* 27:250-266.
- Klavivko, E.J., MacKay, A.D., Bradford, J.M. 1986. Earthworms as a factor in the reduction of soil crusting. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:191-196.
- Kwon, Y.W., B.W. Lee, and D.S. Kim, 1996, Effect of soil strength on seedling emergence of rice and vanyard grass in direct dry-seeding. *Korean J. Crop Sci.* 41(4):489-495.
- Lee, G.Z., Y.S. Choi, S.K. Yang, J.H. Lee, and S.Y. Yoon. 2012. Analysis of consumption of homemade organically processed food analysis of the carbon emission reduction effect from no-tillage in pepper (*Capsicum annum L.*) cultivation. *Korean J. Organic Agri.* 20:503-518.
- Linn D. M, and J. W. Doran. 1984. Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:794-799.
- Martinez, E., J.P. Fuentes, Silva, P., V. Susana, and E. Acevedo.

2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a mediterranean environment of Chile. *Soil Till. Res.* 99:232-244.
- NEAR. The Association of north east asia regional governments. Program book. 2013. The 1st sub-committee on agriculture. PP 1-15.
- Nyamadzawo G., P. Nyamugafata, R. Chikowo, and K. Giller. 2008. Residual effects of fallows on selected soil hydraulic properties in a kaolinitic soil subjected to conventional tillage (CT) and no tillage (NT). *Agroforest Syst.* 72:161-168.
- Park, J.M., H.M. Ro, M.S. Yiem, and K. Y. Kim. 1997. Effect of subsoil-breaking impact on some soil physical properties and fruit quality of apples. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 38:137-141.
- Peters. J.B. 2000. Gambian soil fertility trends. 1991-1998. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2201-2210.
- Phillips, S.H. and H.M. Young. 1973. No-tillage farming. reimann associates, INC., Milwaukee, Wisconsin.
- Sauwa, M.M., A.M. Chiroma, U.U. Waniyo, A.L. Ngala, and N.M. Danmowa. 2013. Water transmission properties of a sandy loam soil under different tillage practices in Maiduguri, Nigeria. *Agric. Biol. J. N. Am.* 4:227-234.
- Schjonning. P. B. Christensen, and B. Carstensen. 1994. Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. *Eur. J. Soil Sci.* 45(3):257-268.
- Singh, B., D.S. Chanasyk, and W.B. McGill. 1995. Soil hydraulic properties of an orthic black chernozem under long-term tillage and residue management. *Can. J. Soil Sci.* 76:63-71.
- So, K.H., J.A. Park, J.H. Huh, K.M. Shim, J.H. Ryu, G.Y. Kim, H.C. Jeong, and D.B. Lee. 2010. Estimation of carbon emission and LCA (Life cycle assessment) from pepper (*Capsicum annum* L.) production system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:904-910.
- Taylor, H.M., G.h. Roberson, and J.J. Parker. 1966. Soil strength and root penetration relations for medium to coarse-textured soil material. *Soil Sci.* 102:18-22.
- Van der Meer, and J.J.M. 1993. Microscopic evidence of subglacial deformation. *Quaternary Sci. Rev.* 12:553-587.
- Van der Meer, and J.J.M. 1996. Micromorphology. In: Menzies, J. (Ed.), *Past Glacial Environments: Sediments, Forms and Techniques*. Butterworth-Heinemann, Oxford, pp. 335-355.
- Vepraskas M. J., W.J. Busscher, and J. H. Edwards. 1995. Residual effects of deep tillage vs. no-till on corn growth and grain yield. *J. Prod. Agric.* 8:401-405.
- Wang J., J.D. Hesketh, and J. T. Wooley. 1986. Preexisting channels and soyabean rooting patterns. *Soil Sci.* 141:432-437.
- Warburton D. B., and W. D. Klimstra. 1984. Wildlife use of no-till and conventionally tilled corn fields. *Journal of Soil and Water Conservation . J. Soil Water Conserv.* 39(5):327-330.
- Yang, S.K., Y.W. Seo, G.H. Shin, H.K. Kim, H.J. Kim, K.J. Choi, J.H. Lee, and W.J. Jung. 2011a. The impact of no-tillage and separate irrigation on organic pepper culture at plastic film house. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29 (SUPPL. I) May 2011. pp. 85-86.
- Yang S.K., Y.W. Seo, G.H. Shin, H.K. Kim, J.D. Park, K.J. Choi, M.S. Park, and W.J. Jung. 2011b. Research of organic grown in green house with no-tillage. *International symposium and annual meeting of the KSABC.* pp. 111-113(Abstr.).
- Yang S. K., Y.W. Seo, J.H. Son, J.D. Park, K.J. Choi, and W.J. Jung. 2012. Properties of pepper growth and yield, cost down with no-tillage organic cultivation in vinyl greenhouse. *Korean J. Organic Agri.* 20(3):411-422.