

무경운과 분할관수가 시설 유기재배 고추 생육에 미치는 영향*

양승구** · 신길호* · 김희권* · 김현우* · 최경주* · 정우진***

Effects of No-Tillage and Split Irrigation on the growth of Pepper Organically Cultivated under Plastic Film Greenhouse Condition

Yang, Seung-Koo · Shin, Gil-Ho · Kim, Hee-Kon ·
Kim, Hyun-Woo · Choi, Kyung-Ju · Jung, Woo-Jin

This study was carried out to investigate the effect of no-tillage and split irrigation on the growth of pepper plant under green house condition in Jeonnam province. Moisture content of soil at whole quantity irrigation in tillage was increased rapidly regardless of soil depth for initial irrigation and then was decreased continuously until next irrigation. Deviation of moisture content in soil was decreased with increasing depth of soil. Moisture contents of top soil and subsoil (20 cm) at whole quantity irrigation in no-tillage were increased with sunrise, and then decreased with sunset. Moisture contents of top soil in tillage, and top soil and subsoil (20 cm) in no-tillage at half quantity irrigation indicated a cyclic diurnal variation by evapotranspiration. Salinity of soil was increased after initial irrigation and then was decreased continuously until next irrigation. With increasing depth of soil, increases of salinity in soil was delayed. Salinity of top soil in no-tillage was increased between AM 11:00 and AM 12:00, and then showed the highest level between PM 2:00 and PM 6:00 on a cyclic diurnal variation by evapotranspiration. Salinity of subsoil (30 cm) in no-tillage was not measured a cyclic diurnal variation. Moisture content and salinity of soil was positive correlation regardless of tillage and no-tillage cultivation. Growth of pepper in no-tillage cultivation was higher than that in tillage cultivation. Main branch Length and stem diameter of half quantity irrigation plot was higher than that of whole quantity irrigation plot regardless of tillage and no-tillage cultivation. After harvesting, the number of pepper fruits of half quantity irrigation plot was increased remarkably by 49% and

* 전라남도농업기술원 친환경농업연구소

** Corresponding author, 전라남도농업기술원 친환경농업연구소(sky3878@korea.kr)

*** Corresponding author, 전남대학교 농업생명과학대학 친환경농업연구소 농화학과(woojung@jnu.ac.kr)

47%, in tillage and no-tillage cultivation, respectively. Pepper yield of no-tillage cultivation plot was higher by 8% than that of tillage cultivation plot. Pepper yield of half quantity irrigation plot was increased remarkably by 36% and 39%, in tillage and no-tillage cultivation, respectively.

Key words : *irrigation, moisture content, no-tillage, organic, salinity*

I. 서 론

우리나라 유기 채소는 상당부분 시설재배에서 생산되고 있으나, 시설 채소재배는 강우의 차단과 과도한 유기자재의 투입으로 토양의 양분 불균형이 초래되고 있다(Park et al., 2009; Yang et al., 2011b). 뿐만 아니라 생산성 향상과 농가소득 증대를 목적으로 2~5회의 다모작 재배와 이로 인한 대형농기계의 과다 사용으로 토양 물리성 악화 등 많은 문제점이 발생되고 있다(Kim et al., 1997b; Yang et al., 2014; 2015). 따라서 최근에는 토양의 질 개량, 토양 퇴화의 최소화 등 지속 가능한 생태 농법이 요구되고 있다(Doran, 2002; Tilman et al., 2002; Shokati and Ahangar, 2014; Yang et al., 2014; 2015).

토양 물리성 악화 등 문제점을 해소하기 위한 방법으로 무경운 재배가 시도되고 있다. 무경운 재배는 세계 곳곳에서 0.5 ha 이하의 소규모(e.g. China, Zambia) 농장규모에서부터 1,000 ha 까지(e.g. Argentina, Brazil, Kazakhstan) 토양조건에 관계없이 가능한 것으로 보고되고 있다(Friedrich et al., 2012; Yang et al., 2015). 남미공동체인 브라질, 아르헨티나, 파라과이, 그리고 우루과이에서 무경운 면적은 1987년 6만7천 ha에서 2002년 3천만 ha로 15년 동안에 448배 증가되었다(<http://notill.org>). 한편 이와 같이 무경운 농업이 현저하게 증가된 원인은 농 작업량의 감소와 경제적 이익이 크기 때문으로(King, 1983; Yang et al., 2015) 전 세계의 무경운 면적은 2012년 현재 1억2천8백만 ha로 추정되고 있다(FAO, 2012; Kang et al., 2013).

한편 Lee 등(2012) 은 앞그루 작물 재배할 때 만들어진 두둑과 고랑을 재활용하여 다음 작물을 재배하는 무경운 농업은(Yang et al., 2012b; 2015) 생산비가 절감되고, 농가소득이 증대되어 적은 비용으로 농가에 보급할 수 있는 저탄소 녹색 농업기술이라며 ‘한국형 무경운 농업’이라고 명명하였다.

뿐만 아니라 무경운 농업은 토양침식과 탄소 발생량을 감소시켜 지구온난화 예방 효과가 크고, 고령화된 농촌노동력과 부녀화에 대한 대응기술로 알려지면서, 전남지방을 중심으로 전국적으로 시설채소 무경운 재배농가와 면적이 확대되고 있다. 특히 전남은 2015년 현재 30 경영체 155농가에서 저탄소 인증 농축산물을 생산하여 전국 91 경영체 570농가의 33%를 점유하는 등 저탄소 농산물 생산 메카로 떠오르고 있다(Yang et al., 2014; 2015).

한편 Hwang과 Tac (2001)의 보고에 의하면 고추의 상품과율, 총 착과수는 관수 유무와 멀칭, 그리고 터널 등 재배 조건과 토양의 수분변화에 따라서 관수량은 달라져야 한다고 하였다. 작물의 생육은 토성, 수분함량, 경도, 통기성, 온도 등에 영향을 받으며, 관수 조건과 관수 횟수에 따라서 토양수분이 달라지는데 Jung 등(2015)은 토양수분 20 kPa 도달 시 관수는 80 kPa 도달 시 관수한 처리에 비하여 토양수분 변화가 현저하게 적었다고 하였다. 그리고 Park 등(2010)은 장미 수경재배에서 코이어 혼합 비율에 따라 배지의 수분 함량이 달라지므로 급액량과 급액 횟수를 조절하는 것이 필요하다고 분할 관수의 중요성을 지적한바 있다. 토양재배는 1회 전량관수가 일반적이지만 수경재배에서는 1일 관수량을 1회 전량 관수하는 경우는 거의 없고, 배지의 조건에 따라서 관수횟수를 조절하여 분할 관수하는 것이 일반적이다. 따라서 토양재배에서도 토양조건과 경운방법에 따라서 관수 횟수를 조절하면 토양수분의 편차를 줄일 수 있고 토양의 다져짐(Compaction)과 경반층(Hardpan) 해소 등 토양에 물리성을 안정시켜 토양 수분의 이동과 염류농도에 차이가 있을 것으로 판단되어(Kim, 1997a) 시설고추 유기재배 시 무경운과 분할관수 효과를 구명하고자 본 시험을 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 토양 및 재배관리

본 시험은 1984년부터 시설 채소를 재배하고 있는 전남 나주시 남평읍 평사리 박신식 전남친환경연합회 회장농가의 무농약인증 토양(N 35°03.0'02.0.3" and 126°59.5'02.0", 해발 23 m)으로 2009년 3월부터 경운하지 않고 무경운으로 관리한 토양과 관행적으로 경운한 미사질양토(표토 : 미사 30%, 점토 16%, 모래 54%, 심토 : 미사 26%, 점토 12%, 모래 62%)에서 시험을 수행하였다.

시험구는 난괴법 3반복으로 시험구를 배치하였다. 관수 처리는 관행경운(농업용 소형 트랙터 대동 L2202 - 4WD를 이용하여 표토에서 12 cm 깊이로 로타리 경운)과 무경운 토양에 각각 1회 전량관수와 2회 분할 관수하였다.

고추(품종 : 녹광)는 2010년 3월 3일 정식하여 5월 24일부터 7월 6일까지 수확하였다. 재식거리는 135 × 38 cm로 10a당 1,950주가 소요되었다.

토양의 수분함량과 염류농도, 지온이 자동 기록되는 TDR (Oh et al., 1998) 5 TE센서(Decagon Inc, USA, 센서 길이 10 cm) 3조를 표토는 두둑의 표면으로부터 수직으로 설치하고, 토양 깊이 20 cm와 30 cm 깊이에 각각 수평으로 설치하여 측정 센서 주변의 약 3 L 정도의 부피에 대한 평균 수분도($v \%$)와 지온(C°), 그리고 EC ($dS \text{ cm}^{-2}$)의 평균값을 1시간 간

격으로 자동 기록하여 측정하였다.

생육 단계별 관수 간격은 3월 19일부터 4월 20일까지는 약 4.6일 간격, 그 후 5월 20일까지는 3.8일 간격, 그 후 수확을 완료한 7월 6일까지는 평균 2.5일 간격으로 관수하였다. 3월 19일부터 7월 6일까지 고추 1주당 1일 관수량은 2.38 L로 재배 기간 122일 동안에 주당 290.6 L, 10a 당 관수량은 566.7톤이었다.

전 생육 기간 동안 평균 수분도와 EC 및 지온의 변화를 측정하였으나, 본 논문에서는 생육 중기인 5월 11일 관수하고 5월 14일 다음 관수 직전까지의 수분도와 EC의 변화를 세분하여 분석하였다.

2. 관수 방법

관수 방법은 두둑 표면에 점적호스를 2열로 설치하여 1회 전량관수 처리는 오전 9시경에 약 30분에 걸쳐서 10 a당 9.6톤을 관수하였다. 그리고 2회 분할 관수 처리는 1회 관수량의 50%인 10 a당 4.8톤을 약 15분 동안 관수하고, 1시간 후 나머지 50%인 10a당 4.8톤을 관수하여 1일 총 관수량 9.6톤을 관수하였다.

5월 11일 관수 직전인 8시에 조사한 1회 전량 관수 처리의 경우 토양 수분함량은 14.9%, 20 cm 깊이는 16.2%, 무경운 표토의 수분함량은 12.8%, 20 cm 깊이는 10.5% 수준이었다.

2회 분할 관수 처리의 관수 전 수분 함량은 경운 표토 11.8%, 지하 20 cm 13.5%, 무경운의 표토와 심토는 8.4 수준의 조건에서 토양수분 함량 변화는 관수 직전인 5월 11일 8시의 수분함량 측정치를 0으로 보정하여 수분함량의 변화를 분석하였다.

3. 고추의 생육 및 수량 조사

풋고추 수확 기간은 5월 24일부터 노지 풋고추의 본격 출하 전인 7월 6일까지 도시 근교 농업의 2기작 고추재배 작형에 준하여 시험을 수행하였다. 고추의 생육 및 수량은 농촌진흥청 조사기준에 의거 조사하였다.

4. 통계분석

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

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 관수에 따른 토양 수분 변화

1) 1회 전량관수

경운재배 토양의 표토는 관수개시 2시간 후에 16.1%에 도달하였으며, 관수 4시간 후에는 8.2%, 24시간 후 5.1%, 48시간 후 2.4%, 72시간 후에는 0.54%로 관수 직후 급격하게 증가 후 계속하여 감소되었다(Fig. 1-A) 그리고 경운 토양 지하 20 cm와 30 cm 깊이의 수분함량은 관수 개시 후 2시간 동안 0.1% 정도 감소되었으며, 관수 4~5시간 후에는 5.3~5.8%를 정점으로 24시간 후 2.7~3.1%, 48시간 후 1.5%, 72시간 후 0.45~0.67% 수준으로 계속하여 감소되었다.

한편 3월 27일부터 5월 1일까지 4회 관수하여 수분변화를 관찰한 Nam 등(2007)의 보고에 의하면 3월 27일과 4월 8일, 4월 19일까지 3회의 관수에서는 관수 후 수분함량이 직선적인 감소를 보였으나, 기간의 경과와 관수 횟수가 거듭됨에 따라서 토양 수분함량이 증가되었으며, 수분감소의 기울기가 둔화되었다고 하였다. 그리고 5월 1일 관수에서 수분함량은 증가되었으나 수분감소 기울기는 그래프상에 거의 나타나지 않는 수준을 보여(Nam et al., 2007) 본 시험의 수분변화와 유사한 경향이였다.

관수 후 다음 관수 직전까지 3일 동안에 경운 토양의 수분함량 편차가 표토는 최대 16.1%에서 0.54%까지 감소되어 15.6% 편차를 보였으나, 지하 20 cm 깊이는 5.4%, 지하 30 cm 깊이의 편차는 4.7%로 토양이 깊어질수록 수분함량의 편차는 감소되었다(Fig. 1-A).

무경운재배 토양의 관수 후 수분함량 변화는 (Fig. 1-B) 표토의 경우 관수개시 2시간 후부터 증가되기 시작하여, 관수 6시간 후에 1.6% 정도 증가되었다. 그리고 무경운 토양의 지하 20 cm와 30 cm 깊이의 수분함량은 관수개시 2시간 동안 0.1% 감소되었으나, 지하 20 cm는 관수개시 3시간 후부터 증가되기 시작하여 11시간 후에는 1.0% 정도 증가되었다. 그리고 지하 30 cm 깊이의 수분함량은 관수개시 4시간 후부터 증가되기 시작하여 관수 후 13시간 동안 0.5% 수준을 유지하였다.

무경운 토양의 주야간의 수분함량 편차가 표토는 0.14~0.81% 수준이고 지하 20 cm는 0.12~0.39% 수준이었으며, 30 cm는 0.03~0.31% 수준의 주야간 편차를 보였다.

무경운 토양 표토 수분함량은 (Fig. 1-B) 해가 뜨기 시작하는 아침 7~8시부터 증가되어 오후 3~4시에 1.0~1.6%를 정점으로 다음날 아침 5~7시까지 감소되는 수분함량이 주기적인 일변화를 보였다.

그리고 무경운 토양 지하 20 cm 깊이 수분함량은 오후 2~3시부터 증가를 시작하여 오후 7~8시경에 1.0%를 정점으로 다음날 아침 6~7시까지 감소되는 일변화를 보였다.

그러나 무경운 토양 지하 30 cm 깊이 수분함량은 정오 12시~오후 2시부터 다음날 오전

3~4시까지 약 13~16시간 동안 수분함량은 0.5%로 변화 없이 지속되고, 오전 8시부터 오후 12시 사이에는 미미하지만 감소되는 경향을 보였다(Fig. 1-B).

무경운 표토의 수분함량은 (Fig. 1-B) 지온이 가장 높은 시간인 오후 3~4시, 지하 20 cm 깊이도 지온이 가장 높은 오후 7~8 시경에(date not shown) 수분함량이 높게 측정되었다. 그리고 무경운 토양의 지하 30 cm 깊이는 지온이 증가되기 시작한 정오부터 지온이 낮아지기 시작한 다음날 오전 3~4시경까지 수분변화가 일어나지 않았으나 최저지온을 나타내는 시간대에서 수분함량이 미미하지만 감소되는 경향이였다.

관수 후 무경운 토양의 수분 반응은 경운 토양에 비하여 반응 시간은 지연되고, 수분 증가량은 경운 토양에 1/5.8~1/10 수준으로 현저하게 감소되었다(Fig. 1A-B).

무경운 토양은 경운 토양에 비하여 배열구조의 증가로 공극량이 증가되는 등(Yang et al., 2014) 토양이 안정화되어 토양과 작물의 증발산(evapotranspiration) 작용으로 인한 수분 변화가 주기적인 일변화를 보인 원인으로 생각되었다. 그러나 경운토양은 경운용 로타리의 회전에 의하여 상부는 토양입자가 분상으로 작게 부서지고 로타리 층 하부는 쟁기 바닥층이 형성되어 모세관의 단절과(Kim et al., 2001) 경반층 형성으로 일출과 온도상승에 의한 증발산의 효과가 상쇄되어 토양수분의 이동이 제한되기 때문에 경운 토양은 무경운 토양과 달리 수분함량의 일변화 없이 직선적으로 감소를 보인 원인으로 추정되었다.

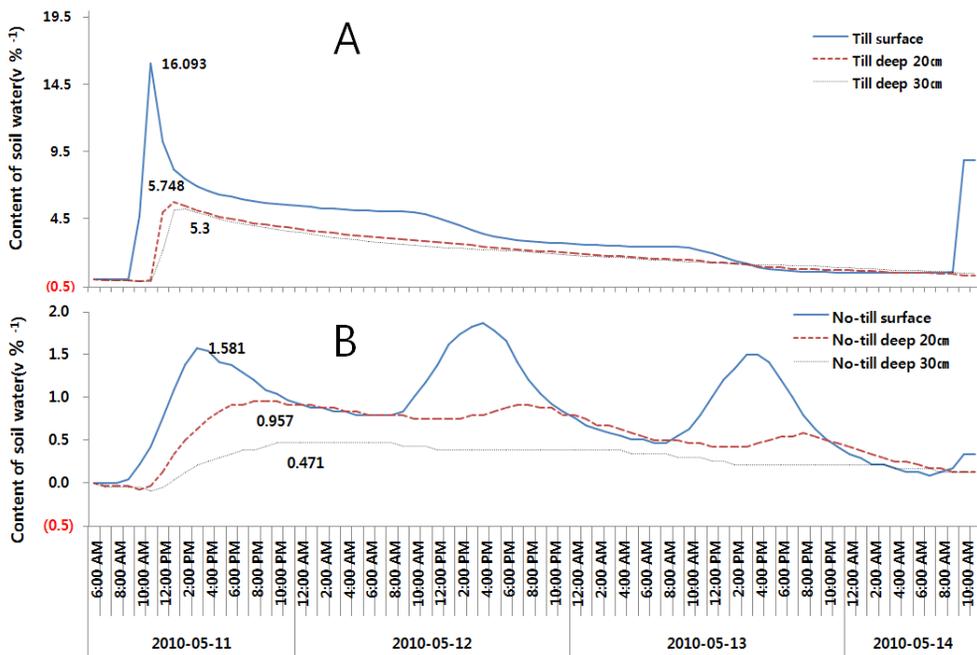


Fig. 1. Change of moisture contents after whole quantity irrigation in silt clay loam soil in the plastic film house (A: Tillage, B: No-tillage).

경운토양에서 토양수분이 관수에 따라서 급격하게 증가되거나 감소되는 현상은 토양 환경은 물론 토양에서 생활하는 식물의 생육에도 부정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각되었다. 따라서 무경운 토양에서 재배된 고추가 경운 토양에 비하여 수확과수 증가로 고추 수량이 되었다는 기존의 결과들과(Yang et al., 2012b; 2015) 본 시험에서 고추의 수확과수가 증가되고, 고추 수량이 증수된 원인으로 추정되었다.

경운 토양에서 관수 후 표토의 수분이 지하 20 cm와 지하 30 cm 깊이의 수분함량에 미치는 영향은 정(+)의 상관으로 고도의 유의성을 ($r = 0.986^{**} \sim 0.968^{**}$) 나타내었다(Fig. 2-A).

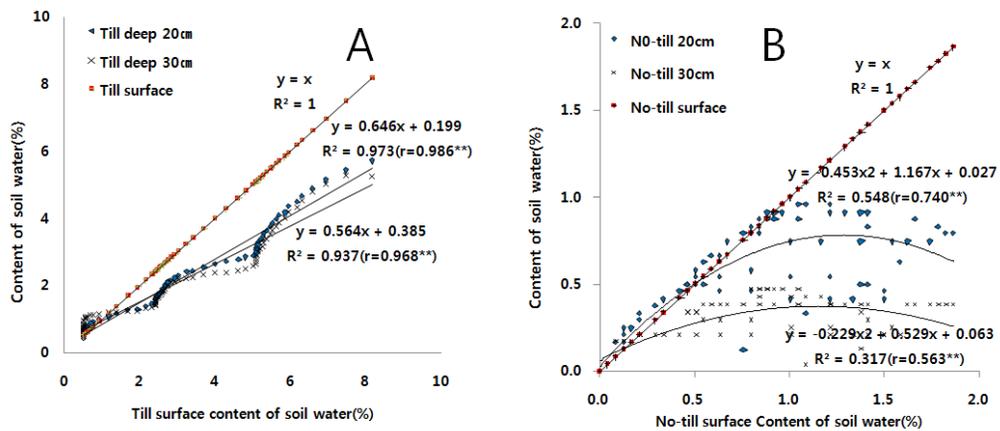


Fig. 2. Correlation between moisture content of top soil and moisture content of subsoil after whole quantity irrigation in silt clay loam soil in the plastic film house (A: Tillage, B: No-tillage).

2) 2회 분할 관수

경운재배 토양의 표토는 (Fig. 3-A) 2회 분할 관수 개시 직후부터 토양수분 함량이 증가되기 시작하여 관수 6시간 후인 오후 4시경에 5.0%에 도달하였으며, 관수개시 22시간 후인 다음날 아침 7시경에 2.7%까지 감소 후 다시 증가되기 시작하였다.

경운 표토의 수분함량의 일변화를 살펴보면 오후 3시경에 각각 5.0%, 4.4%, 3.1% 수준으로 수분함량이 증가되었으며, 최저 수분함량은 오전 7시경에 각각 2.7%, 1.3%, 0.4% 수준으로 가장 낮게 분포하였다. 1회 전량 관수한 경운토양의 표토는 앞서 언급한 바와 같이 관수 직후 수분함량이 16.1%까지 급격하게 증가 후 다음 관수까지 계속 감소하여 일변화가 없었으나(Fig. 1-A), 2회 분할 관수한 무경운과 경운 표토는 1회 전량관수 한 무경운 표토처럼(Fig. 1-B) 수분함량이 주기적인 일변화를 나타내었다.

2회 분할 관수한 경운 토양 지하 20 cm 깊이의 수분함량은 관수 개시 2시간 후부터 증가되기 시작하여 관수 4시간 후에는 3.8%를 정점으로 계속하여 감소되어 다음 관수 직전에는

0.6%까지 감소되었다. 이는 경운과 무경운 토양 20 cm 깊이의 1회 관수 처리와 같은 경향으로 분할 관수의 효과가 표토에서는 크게 나타나고 심토에서는 감소되었다.

경운 표토는 2회 분할 관수한 수분함량 편차가 4.9% 수준이고 경운 20 cm 깊이는 3.2% 수준이었다.

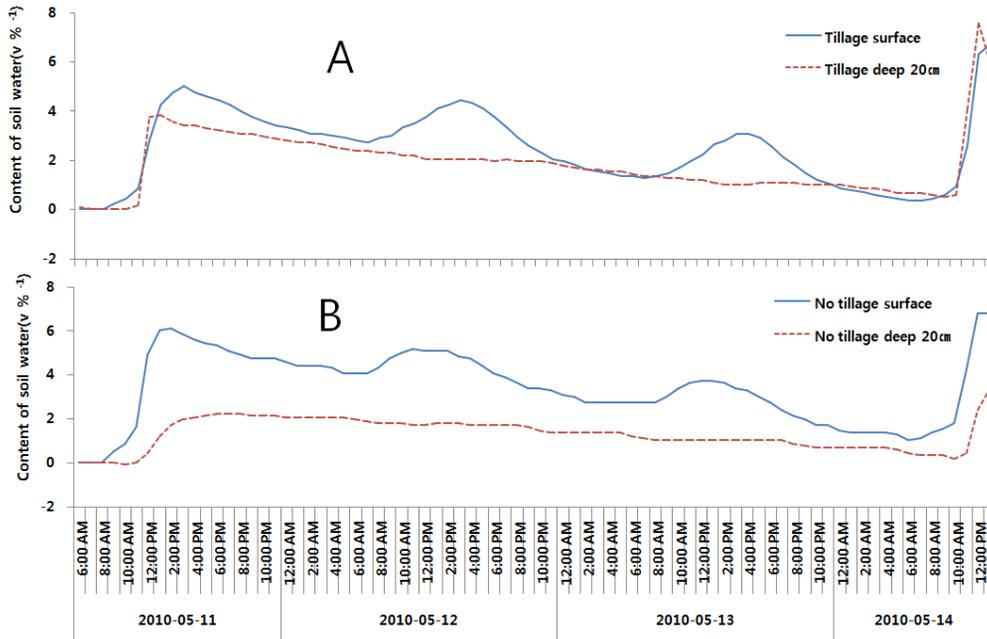


Fig. 3. Change of moisture contents after at half quantity irrigation in silt clay loam soil in the plastic film house (A: Tillage, B: No-tillage).

분할 관수한 무경운 재배 토양의 표토는 관수개시 직후부터 수분함량이 증가되기 시작하여 오후 2시 6.0%까지 증가되어 다음날 아침 5~7시경에 4.1%까지 감소되었다. 그리고 정오부터 오후 2시 사이의 수분함량은 각각 6.1%, 5.2%, 3.7% 수준으로 하루 중 가장 높았으며, 1일 최저 수분함량은 오전 6시경으로 각각 4.0%, 2.7%, 1.0% 수준으로 관수 후 기간의 경과에 따라서 감소되었다.

무경운 토양 20 cm 깊이의 수분함량 변화를 살펴보면 관수 3시간 후부터 증가되기 시작하여 오후 6~8시경에 2.2%를 정점으로 다음 관수 직전 0.3%까지 계속 감소되었다. 2회 분할 관수한 무경운 지하 20 cm 깊이의 수분 편차는 5.1% 수준이고 경운 20 cm 깊이의 수분 편차는 1.9% 수준이었다.

무경운 토양의 2회 분할 관수는 표토와 심토에서 공히 1회 전량관수와 같은 경향을 보였다. 이는 토양의 물리성이 안정된 결과로(Yang et al., 2014; 2015) 추정되었다.

한편 Park 등(2010)은 장미 수경재배에서 코이어 DF (dust : fiber)와 DC (dust : chip) 혼합 비율에 따른 배지의 수분 함량 변화를 측정된 결과 배지간 최고 수분함량과 최저 수분함량의 차이는 fiber 함량이 20%인 배지와 chip의 함량 30%인 배지에서 가장 낮았으며, 급액량을 1회에 60~90 mL로 설정하고 수분의 필요 유무에 따라 급액 횟수를 조절하는 것이 필요하다고 분할 관수의 중요성을 지적한바 있다(Park et al., 2010). 그리고 Jung 등(2015)은 물 부족 조건에서 상추의 양분관리를 위한 시험에서 관수 시점을 20~80 kPa의 수준으로 관개한 결과 80 kPa 도달 시 관수에서는 수분 변화폭이 현저하게 컸으나, 20 kPa 수준에서 관수한 처리의 토양수분 변화는 미미하여 토양수분 변화가 80 kPa 도달 시 관수 비하여 현저하게 감소되었다고 하여 본 시험과 같은 경향을 보였다.

2회 분할 관수한 경운토양의 수분 편차는 1회 전량관수에 비하여 현저하게 감소되었는데(Fig. 3-A), 2회 분할 관수한 경운 토양의 수분함량 편차의 감소는 토양 내 수분 변화폭의 감소로 토양환경과 작물생육에 긍정적인 효과를 미치며 경운 토양은 무경운 토양에 비하여 분할관수의 효과가 클 것으로 생각되었다.

이와 같은 관점에서 경운 토양의 분할 관수는 토양수분의 편차를 줄이고 토양에 물리성을 안정시켜 작물 생육에 긍정적인 역할을 할 것으로 기대되었다.

2. 관수에 따른 토양 염류농도 변화

관수가 토양의 염류농도에 미치는 영향을 살펴보면 경운 토양의 표토는 관수 1시간 후인 오전 10시경에 증가되기 시작하여 오전 11시경에 0.13 dS/m를 정점으로 다음 관수 직전까지 계속하여 감소되었다(Fig. 4-A). 그러나 지하 20 cm와 30 cm 깊이의 경운토양은 관수 3시간 후인 오후 12시에 염류농도가 증가되기 시작하여 관수 3시간 후에 지하 20 cm 깊이는 0.19 dS/m, 지하 30 cm 깊이는 0.25 dS/m을 정점으로 감소되기 시작하였다.

무경운 표토의 염류농도는 (Fig. 4-B) 관수 3시간 후인 오후 12시부터 증가되기 시작하여 관수 8시간 후인 오후 4시경에 염류농도 0.05 dS/m을 정점으로 감소되었다. 그리고 무경운 토양 20 cm 깊이의 염류농도는 14시간 후인 오후 10시에 염류농도는 0.01 dS/m 수준으로 미미하지만 증가되었고, 30 cm 깊이의 염류농도는 변화가 없었다.

무경운 표토의 염류농도 일변화를 살펴보면 오전 11시부터 오후 12시 사이에 증가되기 시작하여 오후 2~6시경을 정점으로 밤 11~새벽 2시까지 1일 1회 정도 증가와 감소가 반복되었다. 무경운 토양 20cm 깊이의 염류농도는 오후 10시부터~오전 3시에 증가가 시작되어 무경운 표토에 비하여 10~12시간 정도 지연되었으나, 염류농도 일변화로 1일 1회 증가와 감소가 반복되었다.

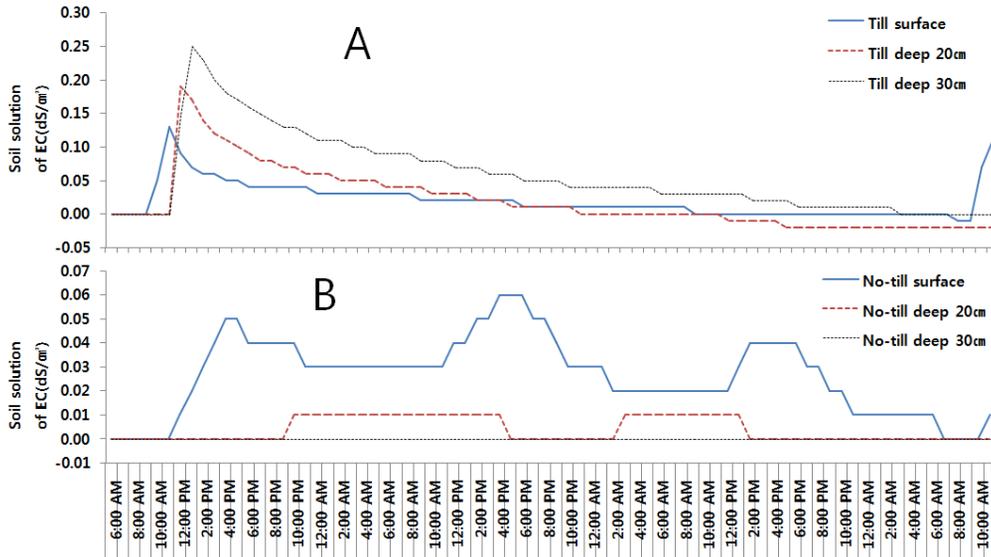


Fig. 4. Change of EC contents after whole quantity irrigation in silt clay loam soil in the plastic film house (A: Tillage, B: No-tillage).

한편 Kim 등(1997)은 용적밀도가 다른 시설재배지에서 토양 깊이에 따른 EC 값이 지표면과 10 cm 이내에서는 5.08 dS m^{-1} 수준이었으나, 경반층이 형성된 20 cm 이하에서는 0.7 dS m^{-1} 이하로 감소되었다고 하였다. 이와 같이 토양 깊이에 따른 EC 값이 차이는 발생하는 원인은 경반층에 의한 물의 수직흐름이 원활하지 못하여 염류의 표층내 이동이 지체되고 집적이 발생되며, 높은 외부온도 때문에 증발량이 투수량보다 많아 발생하는 모세관 압력 상승으로 인한 지표면 염류집적 때문으로(Kim et al., 1997)으로 생각되었다.

이와 같은 원인으로 본 시험에서 경운 토양이 무경운 토양에 비하여 EC가 높고 표토와 심토의 편차가 크게 된 원인으로 생각되었다. 그리고 무경운 토양의 염류농도 일변화는 증발산과 수분함량의 일변화와 관련이 있는 것으로 추정되었다.

토양수분 함량과 염류농도는 경운방법에 관계없이 정(+)의 상관관계를 ($r = 0.60 \sim 0.96^{**}$) 나타내었다(Fig. 5 A-F).

한편 Yoon 등(2011)은 이랑의 표토에서 측정한 투수속도와 비교하여 볼 때 20~40 cm 깊이의 심토에서 측정한 투수속도는 급격히 낮아지며 전기전도도(EC)는 이랑의 표토에서 가장 크게 나타나 염류의 집적 정도가 표토에서 집중된다며, 염류 집적의 원인은 일차적으로 과도한 비료 투입의 문제이지만, 토양 수문학적 관점에서 강수에 의한 토양 내 수분 공급의 제한과 하우스 내 높은 온도로 인한 증발산량의 증가가 표토의 염 농도 증가의 중요 메커니즘으로 생각되었다(Yoon et al., 2011).

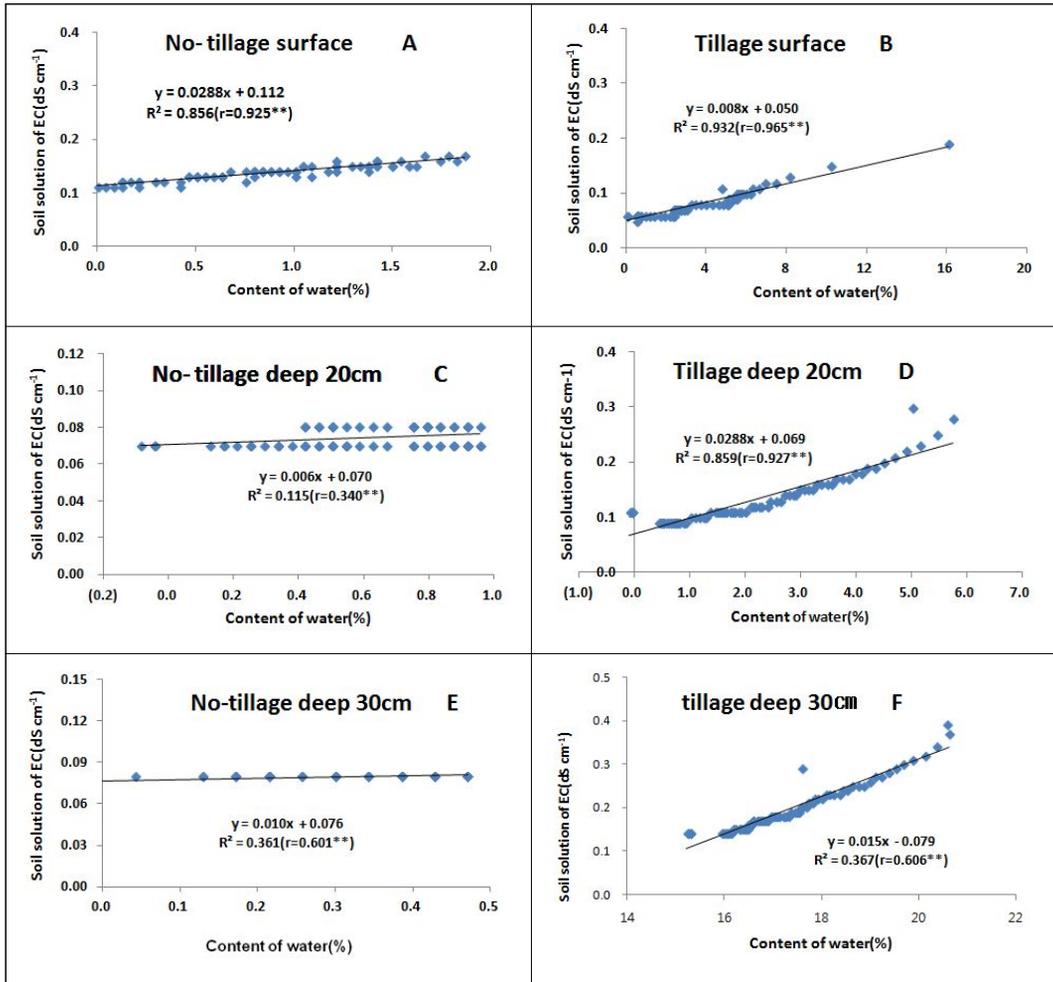


Fig. 5. Correlation between moisture content and EC content after at half quantity irrigation in silt clay loam soil at different soil depths in plastic film house (A: No-Tillage surface, B: Tillage surface, C: No-tillage deep 20 cm, D: Tillage deep 20 cm, E: No-tillage deep 30 cm, F: Tillage deep 30 cm).

3. 고추의 생육 및 수량

무경운 토양에서 재배된 고추의 생육은(Table 1) 경운 토양에서 재배된 고추에 비하여 주지의 길이와 경경 등 생육이 억제되는 경향이였다. 그리고 경운방법에 관계없이 고추의 과경과 과장 등 품질 특성에는 유의적인 차이가 없었다.

고추 수량은(Table 2) 무경운 재배가 경운재배에 비하여 수확과수의 증가로 8% 정도 증수되었다.

Table 1. Effect of tillage method and irrigation method on the growth of red pepper cultivated in silt clay loam soil under plastic film house

Soil management	Irrigation management	Stem width (mm)	Hill spacing (cm)	Primary branch length(cm)	Node number (nodes/plant)	Node stem length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)
Tillage	Whole quantity irrigation	14.6 ^{ab}	23.7	74.3 ^b	17.9	4.2	9.9	5.1
	Half división irrigation	15.6 ^a	23.5	79.5 ^a	19.1	4.2	9.5	4.9
No-tillage	Whole quantity irrigation	13.4 ^b	23.3	72.8 ^b	17.7	4.1	9.4	4.7
	Half división irrigation	15.2 ^a	22.2	78.8 ^a	18.0	4.4	10.0	5.0

* The ANOVA Procedure : Tukey's Studentized Range (HSD) Test (p=0.05)

한편 Yang 등(2012a)의 보고에 따르면 시설 재배 무경운 토양은 경운 토양에 비하여 미생물이 증가되고, 토양의 입자가 떼알구조를 형성하기 때문에 거칠고 곱아서 정식 초기에 고추 모종의 뿌리가 토양입자 및 수분과 접촉이 제한되어 뿌리가 수분을 찾아서 깊게 뻗어 들어가면서 영양생장이 감소되어 지상부 생육이 억제되고 생식생장이 촉진되어 고추의 수량과 상품과율이 증가되었다고 하였다(Yang et al., 2012b; 2015). 이와 같은 원인으로 본 시험에서 무경운 토양의 고추 수량이 경운 토양에 비하여 증수된 원인으로 추정되었다.

Table 2. Yield and yield components of red pepper cultivated at different tillage method and irrigation method in silt clay loam soil under plastic film house condition (Harvest period : 2010. May. 24~July. 6)

Soil management	Irrigation management	Fruit diameter (mm)	Fruit length (cm)	Number of fruits (No plant ⁻¹)	Fruit weight (g)	Fruit weight (g plant ⁻¹)	Yield (Mg ha ⁻¹)	Yield Index
Tillage	Whole quantity irrigation	21.0	15.5	58.5 ^b	21.0	1,228 ^b	2,395 ^b	100
	Half división irrigation	20.4	15.2	87.2 ^a	19.2	1,675 ^a	3,266 ^a	136
No-tillage	Whole quantity irrigation	20.1	15.3	63.8 ^b	20.6	1,316 ^b	2,565 ^b	100
	Half división irrigation	20.2	15.3	93.9 ^a	19.4	1,822 ^a	3,552 ^a	138

* The ANOVA Procedure : Tukey's Studentized Range (HSD) Test (p=0.05)

관수량을 50% 씩 2회 분할 관수한 토양에서 재배된 고추는 경운방법에 관계없이 1회 전량관수에 비하여 주지의 길이와 경경 등 생육량이 증가되는 경향이였다(Table 1).

그리고 관수 방법에 관계없이 고추의 과경과 과장 등 품질 특성에는 유의적인 차이가 없었다(Table 2). 고추 수확과수는 1회 전량관수에 비하여 2회 분할 관수가 경운과 무경운 처리에서 각각 49%와 47% 정도 증가되었다. 따라서 분할 관수의 고추 수량은(Table 2) 1회 전량관수에 비하여 2회 분할관수가 수확과수의 증가로 경운 재배에서는 36%, 무경운 재배에서는 39% 정도 증수되었다.

한편 Park 등(1999)의 보고에 의하면 관수점에 따른 사과의 착과량을 조사한 결과 관수점이 낮을수록 많아져 100 kPa은 20 kPa에 비하여 50%나 많았다고 하였다. 일반적으로 노지 토양재배에서 분할 관수는 보편화 되어 있지 않지만 수경재배에서는 배지 조건과 일사량, 작목과 생육상태에 따라서 다르지만 1일 2~8회 정도 분할하여 관수하는 방법은 보편화된 기술이라고 할 수 있다. Kim 등(2013)은 발포 페놀(phenolic foam) 수경재배 배지의 경우 양액의 공급량을 1회 90 mL로 하루 평균 6.4회 공급하는 것이 100 mL로 6.2회 공급하는 것보다 유리하다고 하였다. 또한 Kim 등(2013)은 양액의 1회 공급량을 늘리면서 1일 공급 횟수를 줄여 근권 함수율을 떨어뜨리고 EC를 높이면 생식생장이 촉진되어 착과수가 증가하지만(Beniot, 1992; Lee et al., 1998), 장기간 계속되면 동화양분의 전류가 부족하여 품질이 나빠지게 되고(Tadesse et al., 1999), 지나친 수분스트레스를 통해 낙과가 촉진될 수도 있다고(Doyle et al., 1994) 하였다. 따라서 본 시험의 분할 관수 처리가 1회 전량관수에 비하여 고추의 수확과수 증가로 고추 수량이 증가된 원인으로 추정되었다.

이상의 결과로 보아 무경운 재배가 경운 재배보다, 분할 관수가 1회 전량관수에 비하여 토양 이화학적성이 개선되고 작물의 생산성이 향상되어 농가소득 증대에 기여할 것으로 추정되었다.

IV. 적 요

시설채소 무경운 유기재배와 분할관수 효과를 구명하고자 시험을 수행한 결과 1회 전량 관수한 경운재배 토양의 수분함량은 30 cm 깊이까지 관수개시 후 급격하게 증가 후 다음 관수 직전까지 계속하여 감소되었다. 경운 토양의 수분함량 편차는 토양이 깊어질수록 감소되었다.

1회 전량 관수한 무경운 토양 표토와 지하 20 cm 깊이의 수분함량은 해가 뜨기 시작하면 증가되고 야간에는 감소되는 증발산에 의한 주기적인 일변화를 보였다. 그리고 2회 분할 관수한 경운 표토와 무경운 표토와 지하 20 cm 깊이까지의 수분함량은 증발산에 의한 주기적인 일변화를 나타내었다.

토양의 염류농도는 관수 후 증가되기 시작하여 다음 관수 직전까지 계속하여 감소되었으며, 토양이 깊어질수록 염류농도 증가 시간은 지연되었다.

무경운 표토의 염류농도 오전 11시부터 정오 12시 사이에 증가되기 시작하여 오후 2~6시 경을 정점으로 1일 1회 증가와 감소되는 증발산작용에 의한 일변화를 보였다. 30 cm 깊이의 무경운 토양에서는 염류농도의 일변화가 측정되지 않았다. 토양수분 함량과 염류농도는 경운방법에 관계없이 정(+)의 상관관계를 나타내었다.

무경운 토양에서 재배된 고추의 생육은 경운 토양에서 재배된 고추에 비하여 생육이 억제되는 경향을 보였다. 경운방법에 관계없이 50%씩 2회 분할 관수한 토양에서 재배된 고추는 1회 전량관수에 비하여 주지의 길이와 경경 등 생육이 증가되는 경향을 보였다.

고추의 수확과수는 1회 전량관수에 비하여 2회 분할 관수가 경운과 무경운 처리에서 각각 49%와 47% 정도 현저하게 증가되었다. 고추 수량은 무경운 재배가 관행 경운재배에 비하여 8% 정도 증수되었다. 2회 분할관수의 고추 수량이 1회 전량관수에 비하여 수확과수의 증가로 경운 재배에서는 36%, 무경운 재배에서는 39% 정도 현저하게 증수되었다.

[Submitted, September. 18, 2015; Revised, September. 30, 2015; Accepted, October. 2, 2015]

References

1. Benoit, F. 1992. Practical guide for simple soilless culture techniques. Europ. Vegetable R & D Centre, Belgium pp. 28-37.
2. FAO, 2012, Conservation agriculture adoption worldwide website of FAO, <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>.
3. Friedrich, T., R. Derpsch, and A. Kassam. 2012. Overview of the global spread of conservation agriculture. <http://factsreports.revues.org>.
4. Doran, J. W. 2002. Soil health and global sustainability : translating science into practice. Agr. Ecosyst. Environ. 88: 119-127.
5. Doyle, A. S., W. L. Dickens, and J. R. Stansell. 1994. Irrigation regimes affect yield and water use by bell pepper. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119: 936-939.
6. <http://notill.org/sites/default/files/economics-of-no-till-farming-by-rolf-derpsch.pdf>
7. Hwang, J. M. and G. S. Tae. 2001. Changes in the growth of red pepper (*Capsicum annuum* L.) and soil moisture according to irrigation and cultivating methods. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 42(3): 295-299.

8. Jung, K. H., Y. K. Sonn, K. H. Han, and Y. S. Zhang. 2015. Responses of *Lactuca Sativa* (Lettuce) to fertilization rates at various soil moisture conditions at protected cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 48(1): 50-56.
9. 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.
10. Kim, K. S., Y. B. Lee, S. J. Hwang, B. R. Jeong, and C. G. An. 2013. Irrigation method of nutrient solution affect growth and yield of paprika 'eyron' grown in rockwool and phenolic foam slabs. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 31(2): 179-185.
11. Kim, L. Y., H. J. Cho, 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.
12. Kim, P. J., D. K. Lee, and D. Y. Chung. 1997a. Vertical distribution of block density and salts and salts in a plastic film house soil. J. Korea Soc. Soil Sci. Fert. 30: 226-233.
13. Kim, P. J., D. K. Lee, and D. Y. Chung. 1997b. Effects of soil bulk density on saturated hydraulic conductivity and solute elution patterns. J. Korea Soc. Soil Sci. Fert. 30: 234-241.
14. King. A. D. 1983. Progress in no till. Journal of Soil and Water Conservation special issue "Conservation tillage" 38(3): 160-161.
15. Lee, E. H., B. Y. Lee, Y. B. Lee, Y. S. Kwon, and J. W. Lee. 1998. Nitrate content and activities of nitrate reductase and glutamine synthase as affected by ionic strength, nitrate concentration, ratio of nitrate to ammonium in nutrient solution for culture of leaf lettuce and water dropwort. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39: 161-165.
16. 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.
17. Nam, S. S., I. H. Choi, S. K. Bae, and J. K. Bang. 2007. Effect of irrigation level on plant growth and bulb development stage of garlic plants. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 25(3): 169-173.
18. Oh, Y. H., D. S. Oh, K. C. Song, J. S. Shin, and J. N. Im. 1998. Application of dielectric sensor for soil moisture measurement. Kor. J. Soil Sci. Fert. 31: 85-94.
19. Park, C. S., S. C. Yang, G. j. Lee, J. T. Lee, H. M. Kim, S. H. Park, D. H. Kim, A. Y. Jung, and S. W. Hwang. 2006. Spatial variability of soil moisture content, sil penetration resistance and crop yield on the leveled upland in the reclaimed highland. Kor. J. Soil Sci. Fert. 39: 123-135.

20. Park, J. M., D. S. Kim, H. M. Ro, M. S. Lim, and S. H. Yoo. 1999. Effect of nitrogen rates and drip-irrigation levels on leaf mineral contents and growth of lysimeter-grown Fuji/M.26 apples. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40(6): 711-714.
21. Park, S. T., K. Y. Choi, and Y. B. Lee. 2010. Water content characteristics of coconut coir substrates on different mixture ratios and irrigation rates and times. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28(2): 227-233.
22. Shokati, B., and A. G. Ahangar. 2014. Effect of conservation tillage on soil fertility factors: A review. *Inter. J. Biosci.* 4(11): 144-156.
23. Tadesse, T., M. A. Nichols, and K. J. Fisher. 1999. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique. 2. lossom-end rot and fruit mineral status. *New Zealand J. Crop Hort. Sci.* 27: 239-247.
24. Tilman D., K. G. Cassman, P. A. Matson, R. Naylor, and S. Polasky. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature.* 418: 671-677.
25. Yang, S. K., G. H. Shin, H. K. Kim, H. W. Kim, K. J. Choi, and W. J. Jung. 2015. Changes of chemical properties and correlation under no-tillage silt loam soil with ridge cultivation of plastics film greenhouse condition. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(3): 170-179.
26. Yang, S. K., M. K. Kim, Y. W. Seo, K. J. Choi, S. T. Lee, Y. S. Kwak, and Y. H. Lee. 2012a. Soil microbial community analysis of between no-till and tillage in a controlled horticultural field. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 28: 1797-1801.
27. Yang, S. K., Y. W. Seo, J. H. Son, J. D. Park, K. J. Choi, and W. J. Jung. 2012b. Properties of pepper growth and yield, cost down with no-tillage organic cultivation in vinyl greenhouse. *Korean J. Organic Agri.* 20(3): 411-422.
28. Yang, S. K., Y. W. Seo, S. K. Kim, B. H. Kim, H. K. Kim, H. W. Kim, K. J. Choi, Y. S. Han, and W. J. Jung. 2014. Changes in physical properties especially, three phases, bulk density, porosity and correlations under no-tillage silt loam soil with ridge cultivation of rain proof plastic house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47(4): 225-234.
29. Yang, S. K., Y. W. Seo, Y. S. Kim, S. K. Kim, K. H. Lim, K. J. Choi, J. H. Lee, and J. W. Jung. 2011. Changes of pepper yield and chemical properties of soil in the application of different green manure crops and no-tillage organic cultivation. *Korean J. Organic Agri.* 19(2): 255-272.
30. Yoon, S. W., S. Y. Park, H. J. Chun, K. H. Han, S. S. Kang, M. S. Kim, and Y. H. Kim. 2011. Application of electrical resistivity measurement to an evaluation of saline soil in cropping field. *J. Soil Sci. Fert.* 44: 1035-1041.