

| | | |
|------------------------|------------------------|--|
| 사업구분 : 기본연구 | Code 구분 : ES0102 | 농업환경(전반기) |
| 연구과제 및 세부과제명 | 연구기간 | 연구책임자 및 참여연구원(☎) |
| 시설재배지 토양염류 경감 연구 | '06~'06 | 경기도원 환경농업연구과 강창성(229-5821) |
| 토양수분 조절에 의한 염류피해 경감 연구 | '06~'06 | 경기도원 환경농업연구과 노안성(229-5826) (참여연구원) 강창성, 조광래 |
| 색인용어 | 시설재배지, 토양염류, 토양수분, 시금치 | |

ABSTRACT

To evaluate the effects of irrigation levels on the reduction of accumulated soil salts and on the yield of spinach, twice experiments in plastic film house were conducted in both sandy loam soils with EC 1.23 dS m⁻¹ of non salt- accumulated(Soil type I) and EC 5.32 dS m⁻¹ of salt-accumulated(Soil type II).

The dilution factor by regression analysis between electrical conductivity of saturation-paste extract and that of 1 : 5(soil : water) extract was 8.18. According to the increase in soil moisture, the yield and growth of spinach were increased in soil below EC 2.0 dS m⁻¹ at 1st cultivation, but there was no interrelationship between the yields of spinach and the level of soil moisture at EC 5.0 dS m⁻¹ soil. When soil water potential was adjusted from 10 to 15kPa, the spinach yields in soil of EC 5.0 dS m⁻¹ was similar to that in soil of EC 2.0 dS m⁻¹. The electrical conductivity was not fluctuated during the growing period of spinach at soil type I, while fluctuated at soil type II. After experiment, the electrical conductivity was decreased in proportion to the increase in the soil moisture.

Key words : Soil Salts, Electrical conductivity, Water potential, Spinach

1. 연구목표

시설재배는 강우가 차단된 관계로 재배환경을 인위적으로 조절하고 재배작물의 생육조건에 맞는 관리를 실시하여 품질을 향상시키는 장점을 갖는 반면, 지상부가 외부와 차단될 경우 표토의 환경이 크게 달라진다. 특히 토양중 수분 이동양상은 노지토양과 정반대로 나타나기도 한다. 완전히 피복된 상태에서는 관수에 의한 수분 공급이 한정되고 시설내부 온

도의 상승으로 지표면에서 증발되는 수분의 양이 증가한다. 이런 환경조건에 의해 토양수분은 모세관 현상으로 아래에서 위로 이동하게 되고, 이와 함께 염류 성분들도 물과 함께 이동하여 표토에 집적된다.(이 등, 1987 ;정 등, 1998 ;최 등, 1990) 이와 같이 시설재배지는 염류의 과다 투입과 함께 토양 수분의 상향 이동으로 염류가 표토부근에 모이는 염류 집적형의 토양이 된다. 시설재배지는 노지에 비하여 기온이 높게 유지되고 밀식하기 때문에 토양표면으로 증발과 작물에 의한 증산이 많아지므로 수분 요구도가 크며 일조부족에 의하여 식물체가 연약하게 성장하여 건조의 피해가 심하다. 또한 시설 내에서는 지상부의 생육은 왕성한 반면 근권의 발달은 노지에 비하여 얇게 분포하여 수분 흡수 토층범위가 좁고 건조에 대한 내성이 작아 수시로 수분이 공급되어야 한다. 이에 따라 토양 중 염류는 뿌리가 많이 분포하는 토양층에 집적되고 결과적으로 작물에 염류장애를 일으킬 수 있다. 따라서 작물재배 유효토층에 충분한 수분상태가 유지될 수 있도록 관리하고 적정 시비량으로 분시해야 한다. 시설내 관수개시점은 20 kPa 내외로 하여 자주 관개를 하는 것이 좋지만 지중관수나 점적관수에 의해서 유효토층(약 40 cm)을 포장용수량에서 50kPa 까지 생육에 지장이 없는 것으로 알려져 있다.(황 등 1993)

따라서 본 시험에서는 시설재배지 토양의 염류를 제어할 수 있는 방법으로 토양 수분량을 조절하여 염류집적을 경감하고자 시금치를 시험작물로 하여 포장시험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 시험은 2006년도 경기도농업기술원의 시설재배지(비가림 하우스)에서 토양수분을 조절하여 시금치에 대한 염류 경감기술을 활용하고자 포장시험을 2회 수행하였다. 시험포장의 토양화학성은 I 토양과 II 토양으로 구분하였으며 I 토양은 염류집적이 없는 토양으로 1.23 dS m⁻¹ 와 II 토양은 염류농도가 다소 높은 5.32 dS m⁻¹ 의 염농도 수준이 다른 사양 토였다(표 1).

표 1. 시험전 토양의 화학성

| 토양 구분 | pH (1 : 5) | EC (dS m ⁻¹) | OM (g kg ⁻¹) | NO ₃ -N (mg kg ⁻¹) | Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹) | Cl (mg kg ⁻¹) | SO ₄ (mg kg ⁻¹) | Ex.Cation (cmol kg ⁻¹) | | |
|----------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--|--|------------------------------|---|---------------------------------------|-------|------|
| | | | | | | | | K | Ca | Mg |
| I | 6.0 | 1.23 | 23.2 | 66 | 1,103 | 150 | 219 | 0.98 | 6.03 | 1.44 |
| II | 6.0 | 5.32 | 31.5 | 266 | 2,525 | 214 | 367 | 2.79 | 10.34 | 2.94 |

처리내용은 수분장력으로 각각 A : 15~10kPa, B : 25~20kPa, C : 38~33kPa가 되도록 조절하였다. 수분장력계(텐시오미터)를 토심 15cm 지점에 묻고 매일 오전과 오후에 수분장력을 조사하여 관수개시점에 도달하면 1~5mm 관수하여 토양수분이 이동평형이

되어 수분장력계에 표시되도록 하였다. 시험구면적은 $3.9 \times 2.1 = 8.2 \text{ m}^2$ 로 배치는 난괴법 3반복으로 하였으며 기비 및 추비 모두 사용하지 않았다. 시금치 재배는 파크시금치를 시험품종으로 하여 1차 재배는 8월 30일 파종하여 10월 2일까지 수확하였고 2차 재배는 10월 13일 파종하여 11월 27일까지 수확하였다. 재식거리는 25cm 간격으로 줄뿌림하고 복토를 하였으며 출아 후 2주까지 2차 숙기를 실시하였다.

토양 및 식물체 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법(농촌진흥청, 1988)에 준하였다. 토양 시료는 음건시킨 후 2mm 체를 통과시킨 것을 분석시료로 하였다. 분석방법으로 EC(Electrical conductivity)는 시료와 증류수를 1 : 5(w/v) 비율로 혼합하여 30분간 진탕한 후 여액을 EC meter(Orion ATI 170)로 측정하였으며, $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 시료를 2M KCl 용액으로 침출하여 Kjeldahl법으로, pH는 시료와 증류수를 1 : 5(w/v) 비율로 혼합하여 pH meter(ATI orion 370)로 측정하였으며, $\text{Av.P}_2\text{O}_5$ 함량은 Lancaster법에 따라 분광분석기(GBC Cintra 40)로 비색 정량하였고, Exchangeable Cations는 1N- NH_4OAC (pH 7.0) 완충 용액으로 침출하여 ICP(GBC Integra XMP)로 정량하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 시험토양의 EC soil : water=1 : 5 와 포화침출액의 전기전도도 관계

토양의 포화침출액 전기전도도인 EC_e 값을 얻기 위해서 토양과 물의 1 : 5 희석액으로 얻은 침출액의 전기전도도인 $\text{EC}_{\text{soil:water}=1:5}$ 와 포화침출액의 전기전도도인 EC_e 사이의 회귀곡선으로 부터 얻은 기울기(전환계수)를 구하였다. 정 등(2001)에 의하면 토양 별로 그 범위가 5.74 ~ 12.15이었다고 하였으며 본 시험에서 얻은 전환계수는 8.18로 범위에 포함되었다.

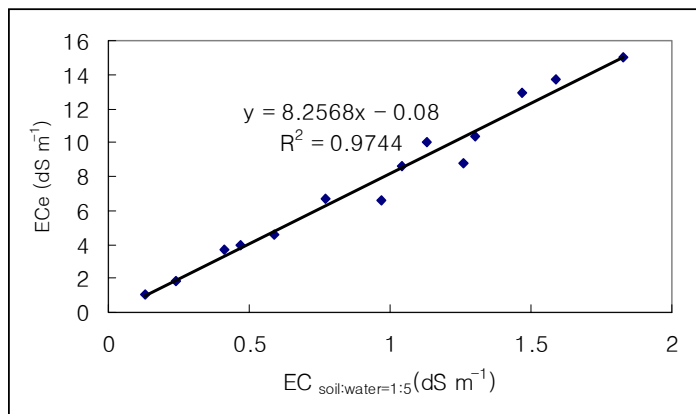


그림 1. EC soil : water=1 : 5 와 포화침출액의 전기전도도 관계

나. 시금치 생육 및 수량

1차 재배 토양염농도 2 dS m^{-1} 이하의 토양에서는 토양수분 함량이 증가할수록 시금치 수량과 생육상태가 증가하는 경향이었으며 토양수분 C(38~33kPa) 처리구에서는 토양수분 A(15~10kPa) 처리구에 비교하여 수량이 71%로 감소하였다. 염농도 5 dS m^{-1} 수준의 토양에서는 토양수분 A(15~10kPa) 처리구의 관수에도 수량은 증가하지 않았으며, 초기 염농도에 의한 염류장해 발생이 관수조건으로 경감되지 않았다고 판단되었다.

표 2. 토양염농도 수준별 생육상황(1차 시험)

| 토양 구분 | 토양 수분 | 수량 ($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$) | 엽장 (cm) | 엽폭 (cm) | 엽수 (매) | 생체중 (g) |
|-------|-----------|--|------------|------------|-----------|------------|
| I | A | 2,277(100) | 22.3 | 10.7 | 12.0 | 32.4 |
| | B | 1,828(80) | 19.1 | 10.0 | 10.2 | 29.7 |
| | C | 1,618(71) | 20.6 | 10. | 11.0 | 28.5 |
| II | A | 793(35) | 12.8 | 6.6 | 8.4 | 10.2 |
| | B | 589(26) | 12.4 | 6.3 | 8.6 | 10.3 |
| | C | 623(27) | 14.2 | 7.0 | 8.8 | 13.3 |
| | LSD(0.05) | 103.9 | - | - | - | - |
| | CV(%) | 4.44 | | | | |

2차 재배 토양염농도 2 dS m^{-1} 이하의 토양에서는 토양수분 함량에 큰 영향이 없이 수량과 생육상태가 유사하였으며 오히려 토양수분 C(38~33kPa) 처리구에서 수량지수가 104로 증가하였다. 1차 재배의 결과와는 달리 2차 재배시기에는 10월 중순 파종에 따른 재배온도와 지온의 차이에 의하여 전체적인 수량은 감소하였으며 수분함량 처리에 따른 생육차이가 크지 않은 것으로 추정된다. 토양염농도 5 dS m^{-1} 수준의 토양수분 A(15~10kPa) 처리구에서는 토양 염농도 2 dS m^{-1} 이하 수준의 시금치 수량을 나타냈으며 이는 관수 주기를 짧게 하여 토양 표면의 수분함량을 유지함으로써 염류장해 경감효과를 나타낸 것으로 추정된다. 토양수분 B(25~20kPa) 처리구에서는 토양수분 A(15~10kPa) 처리구에 비교하여 수량이 68%로 감소하였으며 토양수분 C(38~33kPa) 처리구에서는 수량이 46%로 감소하였다.

표 3. 토양염농도 수준별 생육상황(2차 시험)

| 토양 구분 | 토양 수분 | 수량 ($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$) | 엽장 (cm) | 엽폭 (cm) | 엽수 (매) | 생체중 (g) |
|-------|-------|--|------------|------------|-----------|------------|
| I | A | 1,470(100) | 15.1 | 6.5 | 8.0 | 9.34 |
| | B | 1,461(99) | 14.8 | 5.8 | 10.0 | 6.19 |
| | C | 1,527(104) | 15.2 | 6.0 | 9.2 | 10.43 |

| 토양 구분 | 토양 수분 | 수량 (kg 10a ⁻¹) | 엽장 (cm) | 엽폭 (cm) | 엽수 (매) | 생체중 (g) |
|-------|-----------|----------------------------|---------|---------|--------|---------|
| II | A | 1,463(100) | 16.7 | 8.44 | 9.4 | 12.59 |
| | B | 994(68) | 16.5 | 7.7 | 10.0 | 10.38 |
| | C | 679(46) | 14.0 | 5.8 | 9.2 | 10.51 |
| | LSD(0.05) | 229.0 | - | - | - | - |
| | CV(%) | 9.95 | | | | |

다. 시기별 토양염농도의 변화

표토에서의 토양염농도 변화를 보면, 토양구분 I (토양염농도 2 dS m⁻¹)에서는 시험전과 재배기간중에 염농도의 변화는 없었으며 시금치의 생육이나 수량은 주로 토양수분 함량에 따른 차이로 생각된다. 염류집적 토양인 토양구분 II (토양염농도 5 dS m⁻¹)에서는 시기별로 염농도의 변화가 다소 컸으나 2차 재배 파종 30일 토양염농도는 시험전과 비슷한 수준이었다.

표 4. 토양수분 함량에 따른 토양염농도의 변화

(단위 : dS m⁻¹)

| 토양 구분 | 토양 수분 | 파종전 | 파종 20일 | 1차 수확후 | 2차 파종 20일 | 파종 30일 |
|-------|-------|------|--------|--------|-----------|--------|
| I | A | 1.36 | 1.05 | 1.41 | 1.96 | 1.40 |
| | B | 1.40 | 0.88 | 0.99 | 0.99 | 0.88 |
| | C | 0.94 | 0.94 | 1.05 | 1.05 | 0.94 |
| II | A | 5.07 | 7.31 | 5.06 | 5.06 | 5.51 |
| | B | 6.10 | 7.19 | 7.50 | 4.83 | 5.59 |
| | C | 4.80 | 7.94 | 6.31 | 5.21 | 5.30 |

라. 토양수분 함량에 따른 깊이별 토양(I)화학성

1) 토양구분 I (염류집적이 없는 토양)의 깊이별 토양화학성

1차 재배와 2차 재배 후 깊이별 토양염농도 변화를 보면, 토양수분 A에서 표토 pH는 감소하는 경향이었으며 토심 30cm 이하에서는 pH가 증가하였다. 염류집적이 없는 토양의 염농도와 질산태질소 농도는 큰 변화 없이 토심 50cm 까지 일정한 수준이었다. 토양 양이온(Ca, Mg, K, Na의 합)은 수분처리별로 큰 차이가 없었으며 표토에서 8~9 cmol kg⁻¹ 이었으며 토심 50cm 에서 5~6 cmol kg⁻¹ 으로 변화폭이 크지 않았다.(그림 2, 3, 4) 인산함량은 토심 30cm 에서 표토나 토심 50cm 보다 증가하였으며 인산의 이동성이 다른 염류성분 보다 적다는 것을 알 수 있었다.

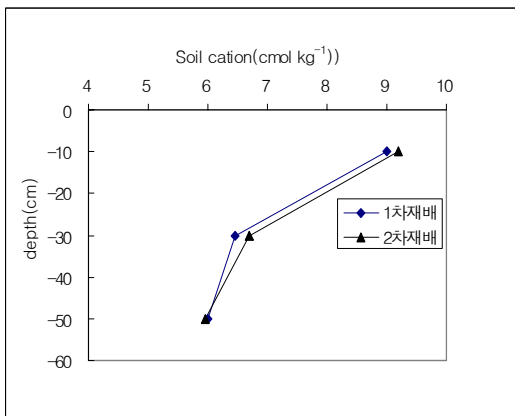
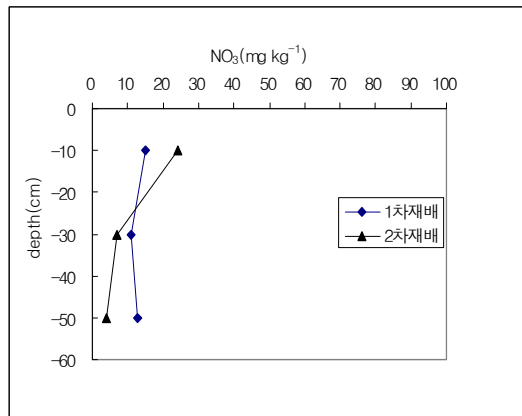
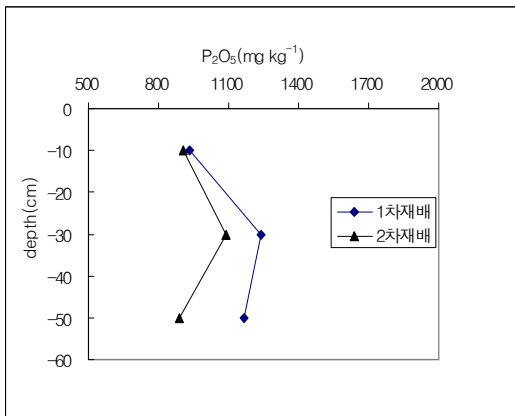
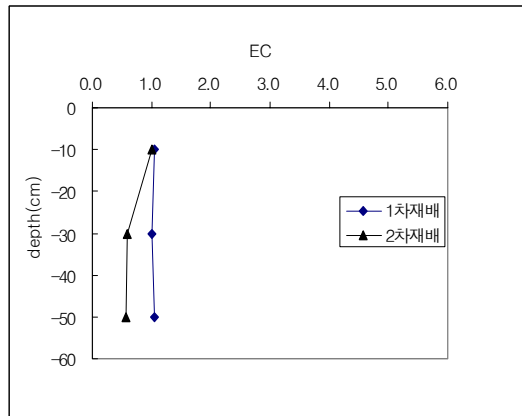
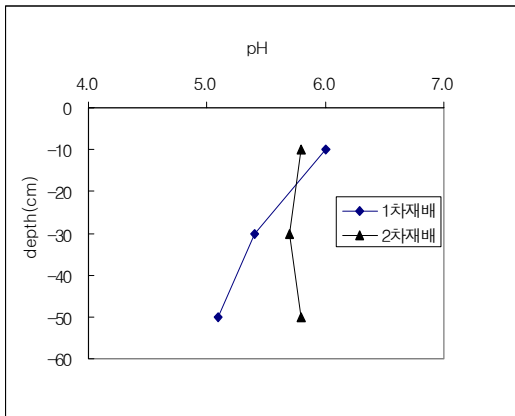


그림 2. 토양수분 A(15~10kPa)에서 깊이별 토양(I) 화학성의 변화

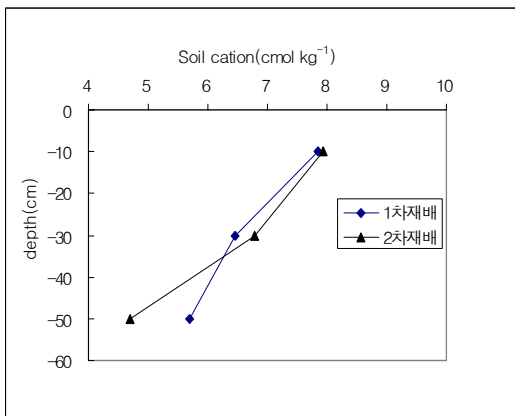
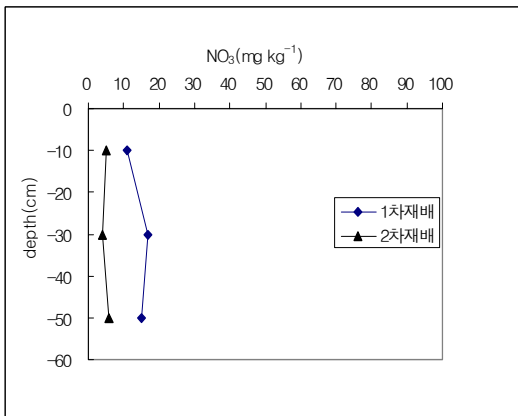
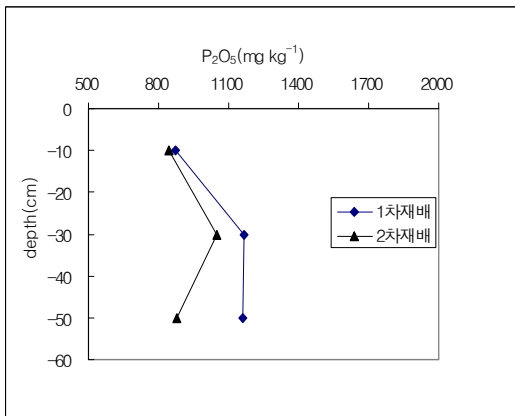
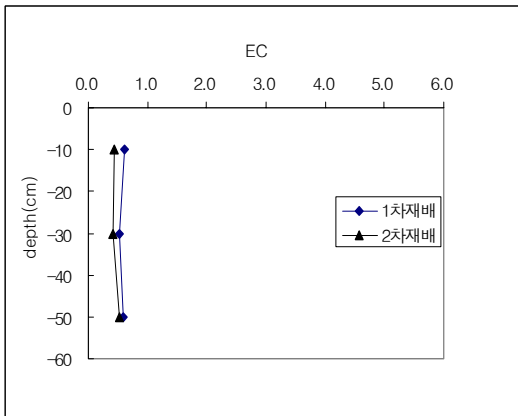
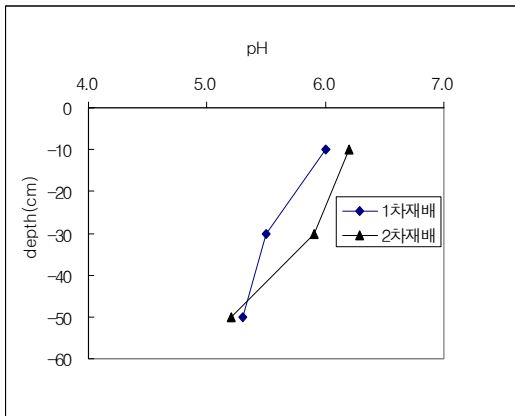


그림 3. 토양수분 B(25~20kPa)에서 깊이별 토양(I) 화학성의 변화

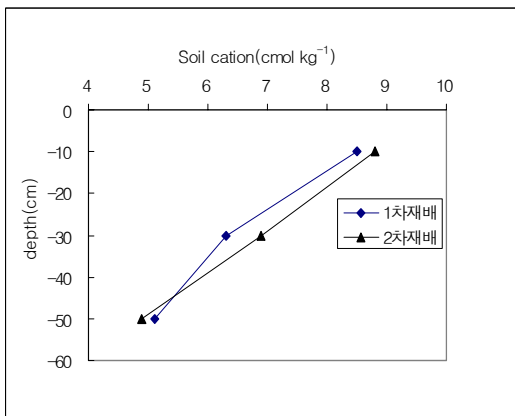
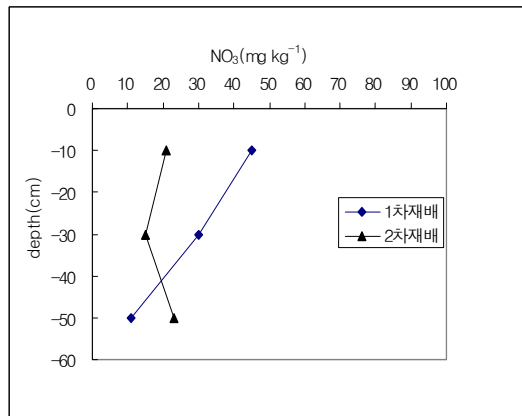
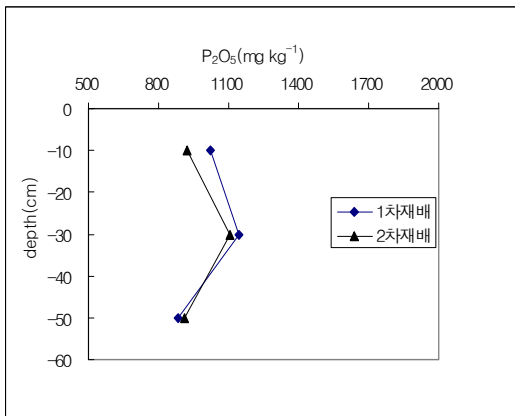
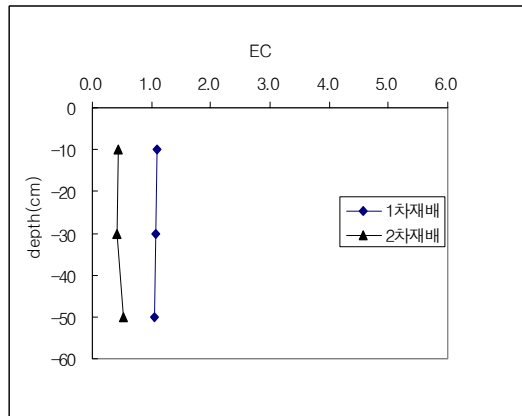
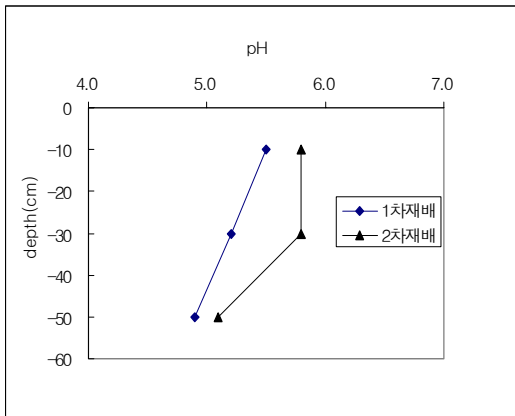


그림 4. 토양수분 C(38~33kPa)에서 깊이별 토양(I) 화학성의 변화

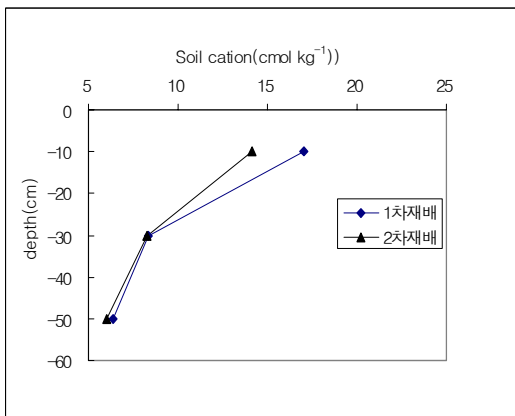
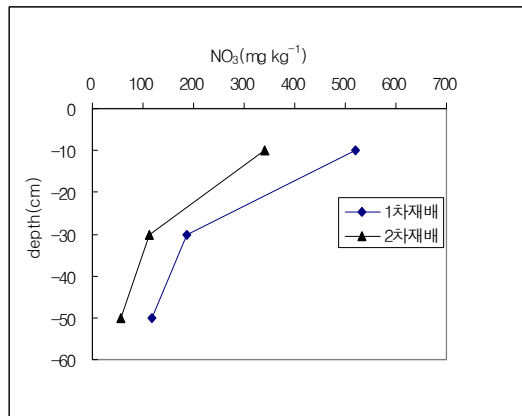
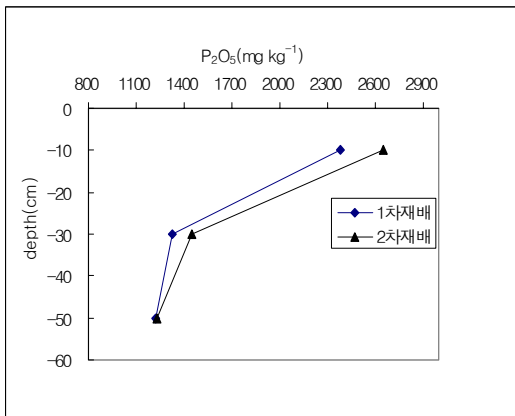
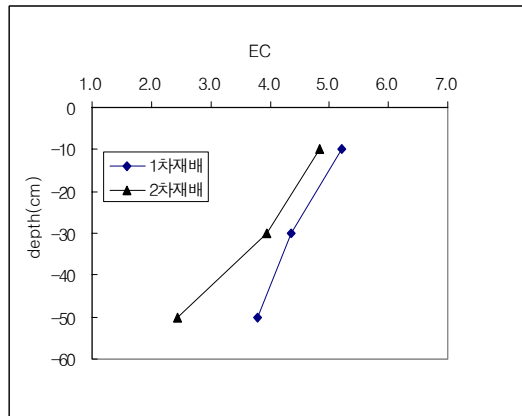
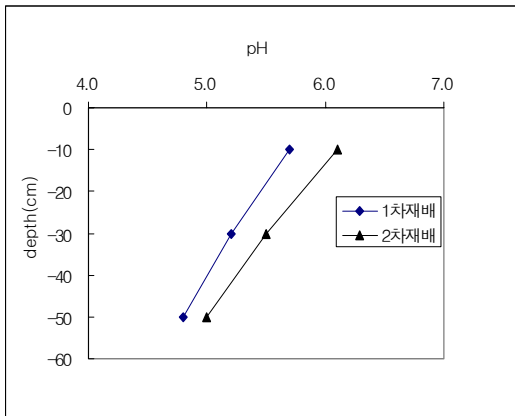


그림 5. 토양수분 A(15~10kPa)에서 깊이별 토양(II) 화학성의 변화

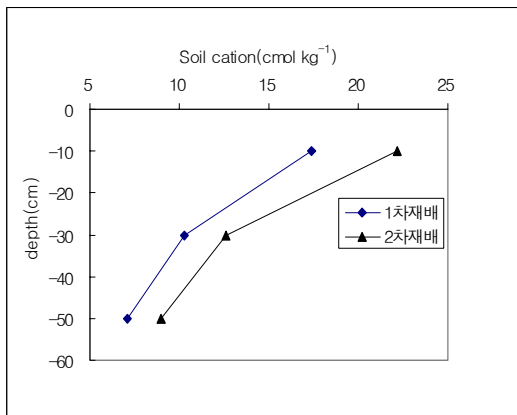
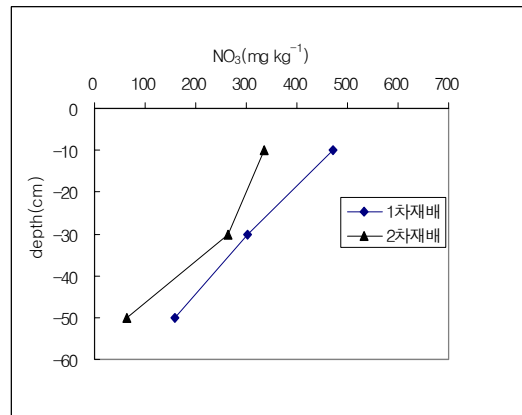
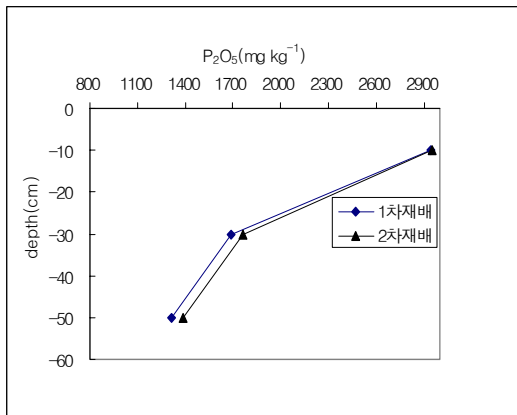
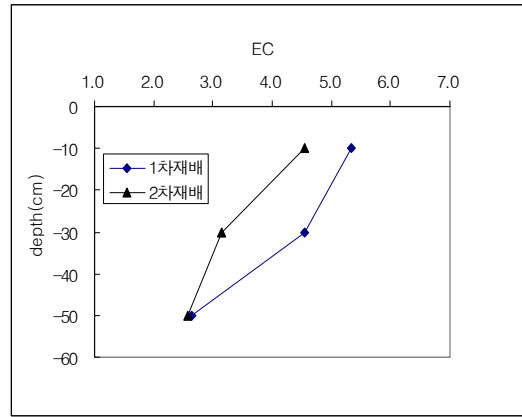
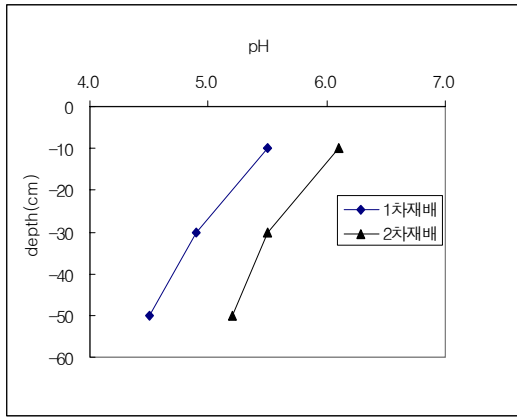


그림 6. 토양수분 B(25~20kPa)에서 깊이별 토양(II) 화학성의 변화

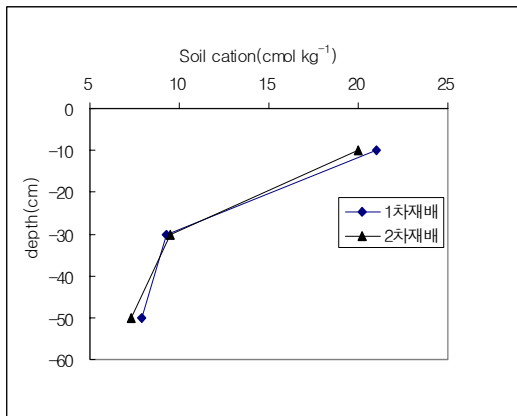
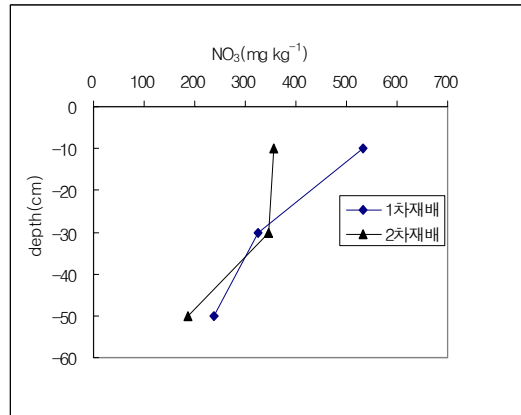
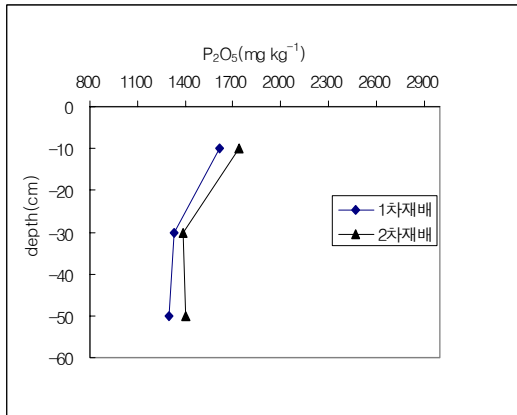
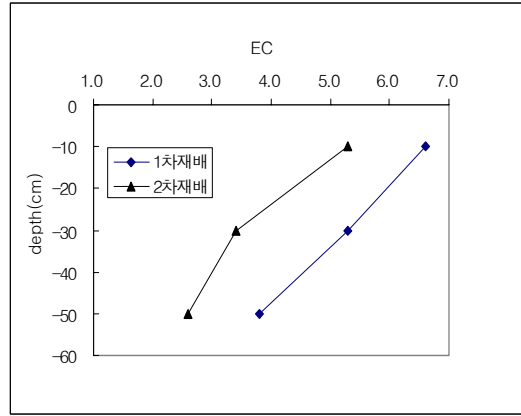
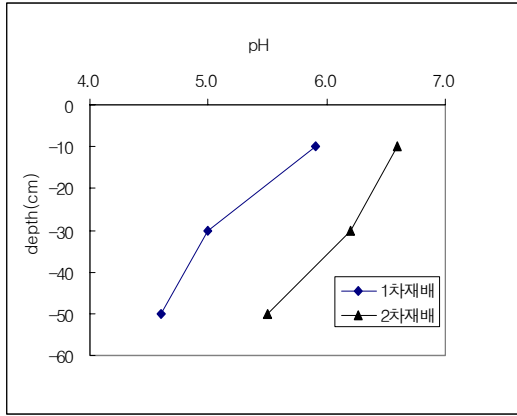


그림 7. 토양수분 C(38~33kPa)에서 깊이별 토양(II) 화학성의 변화

2) 토양구분 II(염류집적이 있는 토양)의 깊이별 토양화학성

1차 재배와 2차 재배 후 깊이별 토양염농도 변화를 보면, 토양수분 A, B, C에서 표토에서 심토까지 pH는 증가하는 경향이었으며 토양수분이 적을수록 증가폭이 증가하였다. EC와 질산태질소 함량은 2차 재배 후 토심 50cm 까지 표토와 토심 50cm 사이에 감소폭이 컸으며 수분함량이 가장 적었던 처리구(토양수분 C)에서도 유사하였다. 토양 양이온(Ca, Mg, K, Na의 합)은 수분처리별로 큰 차이가 없이 표토에서 14~23 cmol kg⁻¹ 이었으며 토심 50cm 에서 6~8 cmol kg⁻¹ 수준으로 감소하였다. 인산함량은 표토에서 토심 30cm 까지 급격히 감소하였으나 토심 30cm에서 50cm 까지는 감소폭이 둔화되었다.

마. 시험후 토양화학성

시험 후 토양화학성은 표 5와 같다. 시험전 토양에 비교하여 토양염농도, 질산태질소, 유효인산, 양이온 함량 등은 감소하는 경향이였다. 토양구분 II의 토양수분 C처리구에서는 시험전 토양염농도 5.32 dS m⁻¹ 에 비교하여 염농도 감소가 없었으나 토양수분 A에서는 3.51dS m⁻¹ 로 감소하였다. 이러한 결과는 시금치 생육과 흡비로 인하여 염농도가 감소된 것으로 생각된다.

표 5. 시험 후 토양화학성

| 토양 구분 | 토양 수분 | pH (1 : 5) | EC (dSm ⁻¹) | OM (gkg ⁻¹) | NO ₃ -N (mgkg ⁻¹) | Av.P ₂ O ₅ (mgkg ⁻¹) | SO ₄ (mgkg ⁻¹) | Ex.Cation(cmol kg ⁻¹) | | |
|-------|-------|------------|-------------------------|-------------------------|--|--|---------------------------------------|-----------------------------------|------|------|
| | | | | | | | | K | Ca | Mg |
| I | A | 5.8 | 1.01 | 22.1 | 24 | 904 | 465 | 0.83 | 6.41 | 1.55 |
| | B | 6.2 | 0.44 | 16.9 | 5 | 847 | 554 | 0.73 | 5.59 | 1.41 |
| | C | 5.8 | 0.85 | 24.5 | 21 | 923 | 525 | 0.85 | 6.14 | 1.45 |
| II | A | 6.1 | 3.51 | 28.5 | 222 | 1,811 | 449 | 1.91 | 9.29 | 2.33 |
| | B | 5.8 | 4.55 | 28.0 | 337 | 1,877 | 386 | 2.29 | 9.68 | 2.24 |
| | C | 5.7 | 5.31 | 27.5 | 356 | 1,738 | 368 | 2.24 | 9.28 | 2.23 |

4. 적 요

시설재배지에서 토양수분을 조절하여 시금치에 대한 염류 경감기술을 활용하고자 포장 시험을 2회 수행하였다. 시험포장의 토양화학성은 I 토양과 II 토양으로 구분하였으며 I 토양은 염류집적이 없는 토양으로 1.23 dS m⁻¹ 와 II 토양은 염류농도가 다소 높은 5.32 dS m⁻¹ 의 염농도 수준이 다른 사양토였다.

가. EC soil : water = 1 : 5와 포화침출액의 전기전도도인 E_{Ce} 사이의 회귀곡선으로 부터

얻은 기울기(전환계수)는 8.18 수준이었다.

- 나. 1차 재배 토양구분 I(염류가 없는 토양)에서는 토양수분 함량이 증가할수록 시금치 수량과 생육상태가 증가하는 경향이였다. 토양염농도 5 dS m^{-1} 수준에서는 토양수분 처리에 따른 수량은 증가하지 않았다
- 다. 2차 재배 토양구분 II(염류가 있는 토양)의 토양수분 A(15~10kPa) 처리구에서는 토양구분 I의 시금치 수량을 나타냈다.
- 라. 토양구분 I에서는 재배기간중에 염농도의 변화는 없었으며 염류집적 토양인 토양구분 II는 시기별로 염농도의 변화가 다소 컸으며 2차 재배 후 토양염농도는 토양수분에 비례하여 감소하였다.
- 마. 시험 후 토양화학성은 시험전 토양에 비하여 토양염농도, 질산태질소, 유효인산, 양이온 함량 등은 감소하는 경향이였다.

5. 인용문헌

농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법.

이상은, 박준규, 윤정희, 김만수(1987), 비닐하우스 토양 화학적 특성에 관한 연구. 농시논문집. 29(1) : 166-171

정병간, 최정원, 윤을수, 윤정희, 김유학, 정구복(1998) 우리나라 시설원에 재배지 토양화학성 특성. 한국토양비료학회지 31(1) pp.9-15

최병주, 이종호, 박훈(1990) 시설원예작물의 생리장해 유발 토양원인 연구 : 토마토, 무, 배추. 한국토양비료학회지 23(2) : 128-134

황선웅, 김유섭, 연병렬, 이용재, 박용대(1993), 몇가지 제염방법에 의한 비닐하우스 내 토양의 염류 제거 효과. 농업과학 논문집 35(1) : 276-280

Jung, Y. S, J. H. Joo, J. D. Hong, I. B. Lee, H. M. Ro(2001) Discussion on dilution factor for electrical conductivity measured by saturation-paste extract and 1 : 5 soil to water, and CEC of Korean soils. Korean J. Soil Sci. Fert. 34 : 71-75