

최 종  
연구보고서

Cleaning crop을 이용한 시설재배지의  
염류제거 기술개발

Development of Salts Removal Technology  
Using Cleaning Crop in the Plastic Film House  
Cultivation Area

연구 기관  
강 원 대 학 교

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “Cleaning crop을 이용한 시설재배지의 염류제거 기술개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003년 8월 2일

주관연구기관명 : 강원대학교

총괄연구책임자 : 조 동 하

세부연구책임자 : 김 일 섭

연 구 원 : 정 영 상

연 구 원 : 윤 병 성

연 구 원 : 김 성 무

연 구 원 : 김 수 재

연 구 원 : 권 혁 운

연 구 원 : 권 석 철

연 구 원 : 유 일 호

# 요 약 문

## I. 제 목

Cleaning crop을 이용한 시설재배지의 염류제거 기술개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

염류토양은 건조 혹은 반건조 기후 하에서 토양의 염류의 축적에 기인하는데, 우리 나라에 있어서는 다소 강우량이 많은 편이라 토양 중에 염류는 유실되고 특수한 경우를 제외하고는 염류집적이 심하지는 않다. 그러나 비닐하우스의 보급으로 시설재배 시 토양내의 염류의 집적이 문제가 되고 있으며, 하우스 내에서는 강우의 영향을 받지 않아 염류제거가 원활치 않아 관수에 의한 공급으로서만 제염을 할 수밖에 없다. 그러나 관수에 의한 염류제거는 배수의 문제점으로 다시금 토양 표토로 올라오거나 배수에 의한 다른 토양의 오염을 일으킨다. 현재 시설재배농가의 하우스내에서 재배되는 작물은 많은 비료를 사용하면서 연작을 하기 때문에 염류의 집적이 심각하게 진행되고 있다. 효율적인 제염기술 개발이 실용화된다면, 제염하는데 드는 시간을 대폭 단축할 수가 있을 만 아니라, 양질의 과채류 및 화훼류의 확보를 통한 고품질화로 상품화율을 향상시켜서 소득을 높일 것이다. 비료시비의 과다로 인한 시설재배지의 염류집적은 Cleaning crop에 의한 염류토양의 제거와 적정 시비수준의 체계확립으로 토양내의 질산태 질소와 인산이 하천과 호수로 유입되는 것을 막아 생태계를 보호할 수 있는 이점이 있다. 시설재배지의 염류집적에 대한 Cleaning crop방법에 의한 토양 제염기술이 체계화 된다면 매년 염류장해로 인한 작물의 수량감소, 병해 및 토양의 퇴화를 경감시켜 지속성 농업과 농가소득증대를 이룰 수 있다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

Cleaning Crop이란 토양집적 시설재배지에 흡비력이 강한 작물인 옥수수, 수단그라스, 오차드 그라스, 호밀 등을 재배하여 토양내의 염류성분을 흡수 제거하는 작물로서 토양내의 염류성분을 제거하는데 관수나 다른 화학약품을 사용하지 않는 것을 말한다. 시설 재배지의 염류집적토양의 제거를 위하여 Cleaning Crop과 유기물 시용이 이루어지고 있으나 아직까지 작물별로 얼마만큼 토양내의 염류의 제거 정도와 식물생육 조건에 따른 제염 기술이 확립되지 않고 있는 실정이다.

Cleaning Crop의 내염성 정도를 구명하기 위하여 유식물 단계에서의 수경재배로서 염류의 흡수와 축적 정도로 작물체의 내성을 밝혀낸다. 내염성에 관여하는 광합성 특성, 수분 포텐셜, 아미노산 함량등을 조사하여 내염성 정도에 따른 Cleaning Crop의 선발을 한다. 농가의 염류 축적 시설재배지의 공시토양은 사양토이며 공시 시설작물은 배추, 상추 등으로 하였으며, Cleaning Crop 등의 재배 포장 환경 조성으로서 재식 밀도에 따른 토양 염류제거가 식물체의 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 식물체내의 염류성분조사, 식물체의 생장 분석, 토양의 염류 측정을 실시하였다. 토양에 집적되는 염류의 대부분은 작물의 양분이므로, 씻어내거나 휘산시키는 방법은 다른 시각에서 보면 양분손실일 수도 있다. 그래서 흡비력이 강한 Cleaning Crop을 재배함으로써 남은 염류성분을 흡수시키는 방법을 사용하였다. 지역 특성에 따라 시설재배지의 작물별 Cleaning Crop의 선택과 작부체계 확립으로 염류제거 기술 개발하고자 하였다. 궁극적으로 Cleaning Crop을 재배함으로써 염류제거, 토양의 퇴화방지, 작물의 연작장애 및 병충해 방지 효과를 거둘 수 있다고 사료된다.

### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

#### 1. Cleaning crop의 내염성 대사 구명

옥수수의 내염성 특성을 알아보기로 0, 50 mM 그리고 100 mM의 NaCl 처리

된 수경재배를 실행한 결과, 옥수수 유묘기의 광합성율은 무처리구와 염처리 50 mM 사이엔 큰 차이가 나타나지 않았지만, 염처리 100 mM에서는 염처리 1일, 4일, 7일 후, 각각 무처리구에 비해 76%, 49%, 31%로 점차 저하하였다. 옥수수 유묘기의 삼투압 포텐셜은 염처리 농도가 높아짐에 따라 현저한 감소를 나타냈으나, 지상부의 유리 proline 함량은 염처리 농도가 높아짐에 따라 또한 시일이 지나면서 현저하게 증가하였다. 또한 주요 형질간의 상관관을 보면, 삼투압 포텐셜과 광합성율 사이에는 높은 정의 상관관계를 나타냈으나, 삼투압 포텐셜과 유리 proline 함량 사이에는 높은 부의 상관관계를 나타냈다. 내염성을 가진 옥수수 유묘를 염류축적 토양 이식에 활용할 수 있으리라 사료된다.

## 2. 환경조절실에서 포트재배시 cleaning crop들의 염류 농도별 내염성 특성

환경조절실에서 염류축적 포트에서 cleaning crop인 sudan grass와 찰옥 2호를 관수조절에 의해 재배하였을 때, 두 작물이 모두 수분상태가 좋은 처리구 포트에서 수분스트레스를 준 처리구 포트에 비해 광합성율이 높고, 식물체내의 염류 함량이 높았을 뿐만 아니라 제염효과도 더 우월하였다. 염류 처리에 의한 춘천 재래와 양질메밀의 광합성율과 rutin 함량의 차이를 보면, 광합성율은 두 메밀 보다 염처리 농도가 높을수록 광합성율의 저하를 나타냈는데, 염처리 5 mM에서는 오히려 무처리보다 약간 높게 나타났다. rutin 함량도 염처리 농도가 높을수록 낮게 나타났지만, 춘천재래 메밀의 잎의 rutin 함량은 5 mM, 10 mM에서 각각 무처리에 비해 1.3배, 1.4배로 높게 나타났다. Cleaning crop의 재배에 의한 염류제거에 있어서 관수처리를 활용할 수 있으리라 사료된다.

## 3. 염류집적 시설재배지에서의 cleaning crop 재배에 의한 제염기술개발

### 1) 옥수수의 재식거리에 따른 제염효과 및 후작물 배추의 성장분석

재식거리에 따른 옥수수 재배 토양의 염류축적은 정도는 시일이 지나면서 현저한 감소를 나타냈는데, 이식 후 50일째에는 토양내의 염류함량은 30 ~ 50 % 정도 감소하였다. 재식거리에 따른 옥수수의 광합성율은 소식재배가 밀식재배보

다 높게 나타났으며, 시일에 따른 식물체의 염류함량은 대체로 이식 후 30일째에 높게 나타났으며, 특히  $K^+$  함량이 다른 염류함량보다 높게 나타났다. 후작물 배추의 광합성율, 염류함량은 재식거리별 차이를 보이지 않았지만, 생체중, 건물중은 재식거리 25 × 25 cm와 40 × 40 cm에서 non-saline 처리구와 55 × 55 cm보다 더 높게 나타났다. 재식거리에 따른 염류토양의 제염효과가 있으므로 이를 제염기술에 활용할 수 있으리라 사료된다.

### 2) Sudan grass 재배에 따른 제염효과와 생리적특성

염류집적 시설재배지에서 재식거리에 따른 sudan grass 광합성율 차이를 보면 시기와 상관없이 밀식인 10 × 10 cm에서 소식인 20 × 20 cm보다 낮게 나타났다. 시일이 지나면서 두 재식거리 모두에서 현저하게 증가하였다. 또한 생육초기 밀식인 10 × 10 cm에서 현저한 생육장해를 나타냈으나, 시일이 지나면서 다른 재식거리와 차이를 줄였다. 식물체내의 염분성분 함량은 밀식인 10 × 10 cm에서 소식인 20 × 20 cm보다 높게 나타났으며, 재식거리 별 차이 없이  $K^+$  함량이 다른 염분함량보다 훨씬 높게 나타났으며, 또한 지상부의 함량이 지하부 보다 높게 나타났다. 식물체의 재배에 따른 토양의 제염효과를 보면 소식인 20 × 20 cm는 비효과적인 반면에 밀식인 10 × 10 cm에서는  $K^+$ 는 28 %,  $Ca^{++}$ 는 36.6 %,  $Mg^{++}$ 는 30.6 %,  $Na^+$ 는 22.9 %로 염류가 감소하여 높은 효과를 나타냈다. 이식 후 54일째에서는 이식 후 40일째에 비해 현저하게 감소하여 시일이 지나면서 염류제거의 효과가 높아짐을 알 수 있었다. Sudan grass 재배시 밀식재배가 염류제거 기술로 활용할 수 있으리라 사료된다.

### 3) 찰옥2호 옥수수 재배에 따른 토양 제염효과와 생육특성

재식거리에 따른 옥수수의 광합성율의 차이를 보면, 이식 후 23일째(5월31일)에서 재식거리 40 × 40 cm에서 제일 낮게 나타났으나, 시일이 지나면서 식물체의 내염성 증가로 광합성율이 큰 차이는 보이지 않았다. 식물체의 생육특성의 차이를 보면, 이식 후 23일째(5월31일)에서 염류의 영향으로 재식거리 40 × 40 cm에서 생육저해를 나타냈지만, 시일이 지나면서 왕성한 성장을 보였다. 식

물체내의 염분함량의 차이를 보면, 대체로 재식거리 40 × 40 cm에서 다른 재식거리보다 높은 경향을 보였으며, 염류흡수 차이를 보면 K<sup>+</sup> 함량이 다른 염류함량보다 훨씬 높게 나타났다. 식물체내의 염류성분 사이의 상호관계를 보면, K<sup>+</sup>는 Ca<sup>++</sup>와 Na<sup>+</sup> 사이에는 유의적인 부의 상관을 나타냈으나, Mg<sup>++</sup>, Ca<sup>++</sup> 및 Na<sup>+</sup> 세 염류성분 사이에서는 유의적인 정의 상관을 나타냈다. 옥수수의 재배에 따른 토양의 제염효과를 보면, 재식거리 30 × 30 cm에서 K<sup>+</sup>는 28 %, Ca<sup>++</sup>는 36.6 %, Mg<sup>++</sup>는 30.6 %, Na<sup>+</sup>는 22.9 %로 이식 후 37일째에서 이식 후 23일째에 비해 현저하게 감소하였다. 또한 표토의 염류함량이 심토보다 높게 나타났다.

#### 4) Cleaning crop 재배후 후작물 오이, 호밀의 생육특성

후작물 오이를 재배하였을 때, cleaning 구역에서 non-cleaning 구역에 비해 광합성율이 높았으며, 또한 생육도 더 우월하여 생체중, 건물중 및 엽면적도 훨씬 높게 나타났다. 토양의 염류함량은 non-cleaning 구역에서 cleaning 구역에 비해 K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup> 함량이 각각 2배, 2.6배, 3.7배, 1.5배로 높게 나타났다. 오이 수확 후 겨울 호밀을 재배하였을 때, non-cleaning 구역에서 cleaning 구역에 비해 지하부, 지상부의 K<sup>+</sup> 함량이 각각 1.3배, 1.4배로 높게 나타났다. 이는 생육에 따른 토양으로부터 염류의 흡수가 높아져 나타났다고 사료된다. 염류집적 시설재배지에서 오이를 재배하기 위하여서는 cleaning crop 재배기술을 활용할 수 있으리라 사료된다.

#### 5) 미백찰 옥수수의 내염성 특성과 cleaning crop의 제염효과 비교

시설재배지에서 미백찰 옥수수를 재배하였을 때, 잎의 유리 proline 함량은 saline 처리구에서 non-saline 처리구보다 훨씬 높게 나타났으며, 또한 시일이 지나면서 saline 처리구에서는 훨씬 많이 증가하였다. 잎의 광합성율, 수분 및 삼투압 포텐셜은 saline 처리구에서 non-saline 처리구보다 많이 낮게 나타났다. Cleaning crop들의 생육특성을 보면, 찰옥 2호는 두 처리구 사이에 큰 차이를 보이지 않았지만, sudan grass와 미백찰 옥수수는 saline 처리구에서 non-saline

처리구에 비해 현저한 생육저해를 보였다. Cleaning crop들의 재배에 의한 토양 표토의 염류함량의 차이를 보면, 찰옥 2호가  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^+$  함량이 각각 19.2 %, 42.6 %, 13.2 %로 감소하여, sudan grass와 미백찰 옥수수에 비해 제염효과가 높게 나타났다.

#### 6) 염류집적 중남부지역(영주) 시설재배지에서의 Cleaning Crop에 의한 염류제거 기술개발

Cleaning crop들이 잎의 광합성율, 수분 포텐셜의 차이를 보면, 세 가지 모두 saline 처리구에서 non-saline 처리구에 비해 낮게 나타났다. saline 처리구에서의 광합성율은 찰옥 2호가 제일 높게 나타났다. Cleaning crop들이 식물체내의 염류함량의 차이를 보면, 미백찰, 찰옥2호 그리고 sudan grass 모두 saline 처리구에서 non-saline 처리구에 비해 높게 나타났다.  $K^+$  함량이 다른 염류에 비해 월등하게 높았으나, 시일이 지나면서 많은 감소를 나타냈다. Cleaning crop들이 생육특성을 보면, 미백찰, 찰옥2호 그리고 sudan grass 모두 saline 처리구에서 non-saline 처리구에 비해 현저한 생육저해를 나타냈다. Cleaning crop들이 재배에 의한 토양 표토의 염류함량의 차이를 보면, 찰옥 2호가  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^+$  함량이 각각 25 %, 54 %, 30 %로 감소하여, sudan grass와 미백찰 옥수수에 비해 제염효과가 높게 나타났다. 후작물 배추를 재배하였을 때, 찰옥2호와 미백찰을 재배한 non-saline 처리구와 saline 처리구 사이에 차이가 보이지 않았는데, 이것은 염류토양의 염류가 cleaning되어 non-saline 처리구와 비슷하게 되었을 수 있다. 그러나 sudan grass를 재배한 saline 처리구에서는 non-saline 처리구 보다 낮게 나타났는데, 이것은 sudan grass가 염류토양의 제염효과가 제일 낮음으로서, 다른 구역보다 잔류한 염류가 높은 것과 상관된다고 사료된다. 배추 수확 후, 겨울 호밀을 재배하였을 때, 생체중과 건물중의 차이를 보면 배추와 같은 결과를 얻었다. 중남부(영주)지역 염류집적된 시설재배지 사양토에서의 cleaning crop에 의한 제염효과가 좋았으므로 이를 이 지역에서 활용할 수 있으리라 사료된다.

## Summary

### I. Title

Development of Salts Removal Technology Using Cleaning Crop in the Plastic Film House Cultivation Area

### II. Importance of Study

Saline soil results from salt accumulation in soil under an arid or semiarid climate; in Korea the large amount of rainfall makes salt washed away from soil and, consequently, there is no serious salt accumulation except specific cases. However, the supply of vinyl houses makes the salt accumulation in soil come into question in a plastic film house cultivation area and salt removal could be conducted only by overhead flooding because salt removal fails to be effective in the vinyl house where a rainfall exerts no influence. Meanwhile, overhead flooding causes removed salt to come up to the surface soil again or causes another soil contamination by drainage. The continuous cropping for the crop cultivation in a vinyl house among plastic film house farmhouses using a great amount of fertilizer is currently causing serious salt accumulation. If an efficient salt removal technology development becomes practical, it can not only save much time for salt removal but improve the commercialization rate by securing high-quality fruits, vegetables, and flowers and, consequently, increase an income. The salt accumulation in the plastic film house cultivation area due to excessive fertilization has an advantage of protecting an ecosystem by preventing  $\text{NO}_3\text{-N}$  and phosphoric acid in soil from coming into a river or a lake through soil salt removal using cleaning crops and establishment of the proper level of fertilization. If salt removal technology using cleaning crops

against salt accumulation in a plastic film house cultivation area becomes systematic, it may reduce the loss of crops, and crop damage and degeneration due to a salt problem every year, thus resulting in establishment of sustainable agriculture and increase in agricultural income.

### **III. Research Results and Suggestions for Application**

#### **1. Mechanism of salt tolerance for cleaning crop**

The hydroponic cultivation with 0, 50, and 100 mM NaCl to understand salt tolerance of corn produced the following results: there was no significant difference between 0 and 50 mM NaCl cultivation in the photosynthesis rate during the seedling period while the 100 mM NaCl cultivation gradually decreased in the rate 1, 4, and 7 days after saline treatment by 76%, 49%, and 31%, respectively, compared with non-saline treatment. The osmotic potential during the corn seedling period decreased drastically as the NaCl concentration increased; meanwhile, the free proline content on the ground increased remarkably as the NaCl concentration increased and time went by. Besides, there was a significantly positive relationship between the osmotic potential and photosynthesis rate while there was a highly negative relationship between the osmotic potential and free proline content. Salt tolerant corn seedlings could be used as the useful application of transplanting materials in salt accumulation soil of the plastic film house cultivation.

#### **2. Mechanism of salt tolerance in cleaning crops in the plant environmental control chamber**

After cultivating cleaning crops, sudan grass and Chalok-2, in the salt

accumulation port in the plant environmental control chamber through overhead flooding control, both of the crops showed a higher photosynthesis rate, a higher salt content within a plant, and a more effective salt removal in the treatment port with a good water condition than in the port with water stress. After examining the difference between Chunchon-jaerae and Yangjeul memil in the photosynthesis rate and rutin content by saline treatment, the photosynthesis rate decreased as the NaCl concentration increased in comparison with both of buckwheats while it is a little higher in 5 mM NaCl treatment than in non-saline cultivation. The rutin content also decreased as the NaCl concentration increased while that in a leaf of Chunchon-jaerae memil is higher in 5 mM and 10 mM treatments by 1.3 and 1.4 times, respectively, than non-saline treatment.

### **3. Development of salt removal technology using cleaning crops in salt accumulation soil of the plastic film house cultivation**

#### **1) Analysis of succeeding-crop cabbage, and effect of salt removing of Chalok-2 according to the different planting distance cultivation**

The salt accumulation in corn cultivation soil according to the planting distance decreased remarkably as time went by; the salt content in soil decreased by approximately 30 to 50% by 50 days after transplantation. The spacious planting culture is higher in the photosynthesis rate of corn according to the planting distance than the dense planting culture; the salt content in a plant according to the number of days is generally highest by 30 days after transplantation, particularly with a higher  $K^+$  content than other kinds of salt. The succeeding-crop cabbage showed no difference in a photosynthesis rate and a salt content according to the planting distance while it showed higher dry and fresh weight in 25×25cm and 40×40cm

planting distances than in the non-saline treatment and the 55×55cm distance.

## **2) Physiological characteristics and effects of salt removal using sudan grass in salt accumulation soil of the plastic film house cultivation**

After examining the difference in a photosynthesis rate of sudan grass according to the planting distance in the plastic film house cultivation area with salt accumulation, the intensive culture of 10×10cm showed the lower rate than the extensive culture of 20×20cm regardless of a time. It increased remarkably in both of the planting distances as time went by. The dense planting culture of 10×10cm showed a serious growing difficulty at the early stage of growth; however, it increasingly showed a decrease in the difference from other planting distances as time went by. The salt content in the plant body was higher in the dense planting culture of 10×10cm than in the spacious planting culture of 20×20cm; the  $K^+$  content is much higher than other kinds of salt almost regardless of the planting distance; and the content is higher on the ground than underground. After examining effectiveness of salt removal from soil according to plant cultivation, the spacious planting culture of 20×20cm was ineffective while the dense planting culture of 10×10cm showed great effectiveness with a saline decrease in  $K^+$  by 28%,  $Ca^{++}$  by 36.6%,  $Mg^{++}$  by 30.6%, and  $Na^+$  by 22.9%. The amount of salt decreased remarkably by 54 days, compared with 40 days, after transplantation, which demonstrates improvement in effectiveness of salt removal as time went by. It could be used as the useful application of salt removal technology using sudan grass cultivation.

### **3) Physiological characteristics and effects of salt removal technology using Chalok-2 in salt accumulation soil of the plastic film house cultivation.**

After examining the difference in the photosynthesis rate of corn according to the planting distance, the distance of 40×40cm showed the lowest rate by 23 days after transplantation (May 31); however, there was increasingly no significant difference in the photosynthesis rate due to increased salt tolerance in the plant as time went by. As for the difference in growth features of a plant, the planting distance of 40×40cm showed a growing disorder due to the influence of salt by 23 days after transplantation (May 31); however, there was a desirable growth as time went by. For the difference in the salt content within a plant, the planting distance of 40×40cm tended to be higher than other planting distances, and the  $K^+$  content is much higher than other kinds of salt after examining the difference in salt absorption. As for the correlation between saline components within a plant, there was a significant negative correlation among  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ , and  $Na^+$  while there was a significant positive correlation among  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ , and  $Na^+$ . After examining the effectiveness of salt removal from soil according to corn cultivation, the planting distance of 30×30cm showed a remarkable decrease by 37 days, compared with 23 days, after transplantation in  $K^+$  by 28%,  $Ca^{++}$  by 36.6%,  $Mg^{++}$  by 30.6%, and  $Na^+$  by 22.9%. And the salt content is higher in surface soil than in subsoil.

### **4) Physiological characteristics of succeeding-crop cucumber and oat after cleaning crop cultivation**

When cultivating succeeding-crop cucumber, the cleaning area showed a more higher photosynthesis rate and better growth with much higher fresh

and dry weight, and leaf area than the non-cleaning area. The non-cleaning area showed a higher salt content in soil by 2, 2.6, 3.7, and 1.5 times for  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ , and  $Na^+$ , respectively, than the cleaning area. When cultivating winter ryes after a cucumber harvest, the non-cleaning area showed a higher  $K^+$  content by 1.3 and 1.4 times on the ground and underground, respectively, than the cleaning area. It seem to be due to the increase in salt absorption from soil through growth.

#### **5) Comparison of effects of salt removing between cleaning crops, and characteristics of salt tolerance in Mibackchal corn**

When cultivating Mibackchal corn in the plastic film house cultivation area, the free proline content of a leaf was much higher in the saline treatment than in the non-saline treatment and there was much more significant increase in the saline treatment as time went by. The photosynthesis rate, and water and osmotic potentials of a leaf were even lower in the saline treatment than in the non-saline treatment. As for growth features of cleaning crops, Chalok-2 showed no significant difference between two treatments while sudan grass and Mibackchal corn showed a serious growing problem in the saline treatment in comparison with the non-saline treatment. After examining the salt content in surface soil according to cleaning crop cultivation, Chalok-2 showed a decrease in  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ , and  $Mg^+$  contents by 19.2%, 42.6%, and 13.2%, respectively, with higher effectiveness of salt removal than sudan grass and Mibackchal corn. It could be used as the useful application of salt removal technology using cleaning crop for cucumber cultivation in salt accumulation soil of plastic film house cultivation area.

**6) Development of salt removal technology using cleaning crop in salt accumulation soil of plastic film house cultivation in middle-south area(Youngju) of Korea.**

As for the photosynthesis rate, and water and osmotic potentials of a leaf of cleaning crops, all of them were lower in the saline treatment than in the non-saline treatment. Chalok-2 showed the highest photosynthesis rate in the saline treatment. After examining the difference in the salt content within a plant of cleaning crops, all of Mibackchal, Chalok-2, and sudan grass showed a higher content in the saline treatment than in the non-saline treatment. The  $K^+$  content was much higher than other kinds of salt but decreased significantly as time went by. As for growth features of cleaning crops, all of Mibackchal, Chalok-2, and sudan grass showed a remarkable growth problem in the saline treatment, compared with the non-saline treatment. After examining the difference in the salt content in surface soil according to cleaning crop cultivation, Chalok-2 showed a decrease in  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ , and  $Mg^+$  contents by 25%, 54%, and 30%, respectively, demonstrating higher effectiveness of salt removal than sudan grass and Mibackchal corn. When cultivating succeeding-crop cabbage, there was no difference between the non-saline and saline treatments for Chalok-2 and Mibackchal cultivation, which demonstrates similarity to the non-saline treatment through salt cleaning in saline soil. However, the saline treatment port for sudan grass cultivation showed lower effectiveness than the non-saline treatment, which seemed to be related to the fact that sudan grass has the lowest effectiveness of salt removal from saline soil and thus revealed a higher remaining salt content than in other areas. When cultivating winter ryes after a cabbage harvest, the difference in fresh and dry weight demonstrated the same result with cabbage. It is good results of salt removed using cleaning crop in salt accumulation soil of the plastic film house cultivation in middle-south area(Youngju) of Korea, it could be used as the useful application of salt removal technology in this area.

## CONTENTS

Summary in Korean -----	3
Summary in English -----	9
<b>Chapter 1. Introduction</b> -----	<b>27</b>
Section 1. Signification of study-----	27
Section 2. Objectives and contents of study-----	28
Section 3. Status of study in present-----	28
<b>Chapter 2. Mechanisms of salt tolerance in cleaning crops</b> -----	<b>31</b>
Section 1. Introduction-----	31
Section 2. Materials and methods-----	33
1. Measurement of germination-----	33
2. Hydroponic cultivation-----	33
Section 3. Results and Discussion-----	35
1. Analysis of germination growth of cleaning and general crops under different salt concentration condition-----	35
2. Analysis of cleaning and general crops under different salt concentration of hydroponic cultivation-----	38
3. Mechanism of salt tolerance in Chalok-2 under different salt concentration of hydroponic cultivation-----	40
Section 4. Conclusion-----	49
<b>Chapter 3. Mechanism of salt tolerance in cleaning crops in the plant environmental control chamber</b> -----	<b>50</b>
Section 1. Introduction-----	50
Section 2. Materials and methods-----	52

1. Plant material and salt condition in soil-----	52
2. Analysis of salt contents of plant and soil-----	52
3. Measurement of photosynthesis rate-----	52
Section 3. Results and Discussion-----	54
1. Changes of salt contents in soil on sudan grass cultivation-----	54
2. Changes of salt contents in soil on chal corn cultivation-----	55
3. Difference of photosynthesis rate in sudan grass-----	56
4. Difference of photosynthesis rate in chal corn-----	57
5. Difference of salt contents in sudan grass-----	58
6. Difference of salt contents in sudan grass-----	59
7. Analysis of growth and difference of photosynthesis rate in tomato under box cultivation of salt accumulation-----	60
8. Analysis of growth and difference of photosynthesis rate in bukweat under box cultivation of salt accumulation-----	64
Section 4. Conclusion-----	65

**Chapter 4. Development of salt removal technology utilize  
by cleaning crops in salt accumulation soil of the plastic film house  
cultivation -----67**

**Section 1. Introduction-----67**

**Section 2. Analysis of succeeding-crop chinese cabbage, and effects  
of salt removal technology using Chalok-2 according to the  
different planting distance cultivation-----70**

1. Materials and methods-----70

1) Plant material and salt condition in soil-----70

2) Analysis of salt contents of plant and soil-----70

3) Measurement of photosynthesis rate-----71

4) Measurement of plant fresh and dry weight-----	71
2. Results and Discussion-----	71
1) Changes of salt accumulation contents according to the different planting distance cultivation-----	71
2) Difference of photosynthesis rate according to the different planting distance cultivation-----	73
3) Difference of salt contents of plant according to the different planting distance cultivation-----	74
4) Difference of photosynthesis rate of succeeding chinese cabbage--	77
5) Difference of dry, fresh weight and salt contents of plant in succeeding chinese cabbage-----	78
3. Conclusion-----	80
<b>Section 3. Physiological characteristics and effects of salt removal</b>	
<b>technology using sudan grass in salt accumulation soil of the</b>	
<b>plastic film house cultivation-----</b>	<b>82</b>
1. Materials and methods-----	82
1) Plant material and salt condition in soil-----	82
2) Measurement of fresh, dry weight and leaf area-----	82
3) Analysis of salt contents of plant and soil-----	82
4) Measurement of photosynthesis rate-----	83
2. Results and Discussion-----	84
1) Difference of photosynthesis rate according to the different planting distance cultivation-----	84
2) Physiological characteristics of sudan grass according to the different planting distance cultivation-----	85
3) Difference of salt accumulation contents in sudan grass according to the different planting distance cultivation-----	87

4) Changes of salt accumulation contents in soil on sudan grass according to the different planting distance cultivation-----	92
3. Conclusion-----	95
<b>Section 4. Physiological characteristics and effects of salt removal technology using Chalok-2 in salt accumulation soil of the plastic film house cultivation -----</b>	<b>96</b>
1. Materials and methods-----	96
1) Plant material and salt condition in soil-----	96
2) Measurement of fresh, dry weight and leaf area -----	96
3) Analysis of salt contents of plant and soil-----	96
4) Measurement of photosynthesis rate-----	97
2. Results and Discussion-----	98
1) Difference of photosynthesis rate according to the different planting distance cultivation-----	98
2) Physiological characteristics of Chalok-2 according to the different planting distance cultivation-----	100
3) Difference of salt accumulation contents in Chalok-2 according to the different planting distance cultivation-----	102
4) Changes of salt accumulation contents in soil on Chalok-2 according to the different planting distance cultivation-----	107
5) Relationship of salt contents in plant-----	110
3. Conclusion-----	111
<b>Section 5. Physiological characteristics of succeeding-crop cucumber and oat after cleaning crop cultivation-----</b>	<b>112</b>
1. Materials and methods-----	112
1) Plant material and salt condition in soil-----	112
2) Measurement of fresh, dry weight and leaf area-----	112

3) Analysis of salt contents of plant and soil-----	112
4) Measurement of photosynthesis rate-----	113
5) Measurement of $P_2O_5$ -P, $NO_3^-$ -N and $NH_4^+$ -N-----	113
2. Results and Discussion-----	114
1) Difference of photosynthesis rate in succeeding-crop cucumber---	114
2) Difference of physiological characteristics in succeeding cucumber-	115
3) Difference of salt accumulation contents in soil according to succeeding-crop cucumber cultivation-----	116
4) Difference of salt accumulation contents in winter rye-----	117
5) Difference of salt accumulation contents in soil on winter rye cultivation-----	118
3. Conclusion-----	119
<b>Section 6. Comparison of effects of salt removal between cleaning crops, and characteristics of salt tolerance in Mibackchal corn----</b>	<b>120</b>
1. Materials and methods-----	120
1) Plant material and salt condition in soil-----	120
2) Analysis of salt contents of plant and soil-----	120
3) Measurement of photosynthesis rate and chlorophyll content-----	121
4) Measurement of water potential-----	121
5) Measurement of free proline content-----	121
6) Measurement of fresh, dry weight and leaf area-----	121
2. Results and Discussion-----	122
1) Difference of salt accumulation contents in soil according to Mibackchal corn cultivation-----	122
2) Difference of free proline contents in leaf of Mibackchal corn-----	122
3) Difference of water and osmotic potential in leaf of Mibackchal corn -----	124

4) Difference of chlorophyll contents in leaf of Mibackchal corn-----	125
5) Difference of photosynthesis rate in leaf of Mibackchal corn-----	126
6) Difference of salt accumulation contents in leaf of Mibackchal----	127
7) Changes of salt accumulation contents in soil according to three cleaning crops cultivation-----	130
8) Difference of physiological characteristics in cleaning crops-----	130
3. Conclusion-----	131
<b>Section 7. Development of salt removal technology using cleaning crop in salt accumulation soil of the plastic film house cultivation in middle-south area(Youngju) of Korea-----</b>	<b>133</b>
1. Materials and methods-----	133
1) Plant material and salt condition in soil-----	133
2) Measurement of fresh, dry weight and leaf area-----	133
3) Analysis of salt contents of plant and soil-----	133
4) Measurement of photosynthesis rate-----	134
2. Results and Discussion-----	135
1) Changes of salt accumulation contents in soil according to three cleaning crops cultivation-----	135
2) Difference of photosynthesis rate in cleaning crops-----	137
3) Difference of water potential in cleaning crops-----	138
4) Difference of $P_2O_5$ -P, $NO_3^-$ -N and $NH_4^+$ -N content -----	140
5) Difference of physiological characteristics in cleaning crops-----	143
6) Difference of salt contents in cleaning crops-----	146
7) Difference of fresh and dry weight in succeeding cucumber-----	158
8) Difference of fresh and dry weight in winter rye -----	158
3. Conclusion-----	159
<b>References-----</b>	<b>161</b>

## 목 차

요약문-----	3
본문-----	9
<b>제 1 장 서론-----</b>	<b>27</b>
제 1 절 연구개발의 필요성-----	28
제 2 절 연구개발의 목적과 범위-----	28
제 3 절 현재의 연구동향-----	28
<b>제 2 장 Cleaning crop의 내염성 대사 구명-----</b>	<b>31</b>
제 1 절 서론-----	31
제 2 절 재료 및 방법-----	33
1. 발아율 측정-----	33
2. 수경재배 -----	33
제 3 절 연구결과 및 고찰 -----	35
1. Cleaning Crop 및 일반 작물의 염류농도별 발아생장 분석 -----	35
2. 수경재배시 Cleaning Crop 및 일반 작물의 염류농도별 내염성 특성 분석 -----	38
3. 찰옥 2호 수경재배시 염류농도별 내염성 특성-----	40
제 4 절 결 과 요 약-----	49
<b>제 3 장 식물환경조절실에서 Cleaning crop의 내염성 특성-----</b>	<b>50</b>
제 1 절 서론-----	50
제 2 절 재료 및 방법-----	52
1. 식물 재료 및 토양 염류 조건-----	52
2. 식물체 및 토양 염류성분 분석-----	52
3. 광합성율의 측정 -----	53

제 3 절 결과 및 고찰-----	54
1. sudan grass의 재배에 따른 토양 염류함량의 변화-----	54
2. 찰옥수수의 재배에 따른 토양 염류함량의 변화-----	55
3. sudan grass의 광합성율의 차이-----	56
4. 찰옥수수의 광합성율의 차이-----	57
5. sudan grass의 식물체의 염류함량의 차이-----	58
6. 찰옥수수의 식물체의 염류함량의 차이-----	59
7. 염류축적 재배박스에서 토마토의 성장분석과 광합성 차이 -----	60
8. 염류축적 재배박스에서 메일의 성분분석과 광합성 차이-----	64
제 4 절 결 과 요 약-----	65

#### 제 4 장 염류 집적 시설재배지에서의 Cleaning Crop에 의한 염류

##### 제거 기술개발-----67

제 1 절 서론-----	67
제 2 절 재식거리에 따른 제염효과 및 후작물 배추의 성장분석-----	70
1. 재료 및 방법-----	70
1) 식물재료 및 염류토양조건-----	70
2) 식물체 및 토양 염류 성분 분석-----	70
3) 광합성율의 측정-----	71
4) 식물체 생체중, 건물중 측정-----	71
2. 결과 및 고찰-----	71
1) 재식거리에 따른 토양의 염류축적 양의 변화-----	71
2) 재식거리에 따른 광합성율의 차이-----	73
3) 재식거리에 식물체내의 염류함량의 차이-----	74
4) 후작물 배추의 광합성율의 차이-----	77
5) 후작물 배추의 생체중, 건물중 및 염류축적량의 차이-----	78
3. 결 과 요 약-----	80

제 3 절. 염류가 축적된 시설재배지에서 sudan grass 재배에 따른 제염효과 와 생리적특성 -----	82
1. 재료 및 방법-----	82
1) 식물재료 및 토양염류조건-----	82
2) 식물체 생체중, 건물중 및 엽면적 측정-----	82
3) 토양 및 식물체 염류 성분 분석-----	82
4) 광합성율의 측정-----	83
2. 결과 및 고찰-----	84
1) 재식거리와 시기에 따른 광합성율의 차이-----	84
2) 재식거리에 따른 sudan grass의 생육 특성-----	85
3) 재식거리와 시기에 따른 sudan grass의 염축적량의 차이-----	87
4) Sudan grass 재식거리와 시기에 따른 토양의 염류축적량의 변화-----	92
3. 결 과 요 약-----	95
제 4 절. 염류가 축적된 시설재배지에서 찰옥2호 재배에 따른 토양 제염효과 와 생육특성-----	96
1. 재료 및 방법-----	96
1) 식물재료 및 토양염류조건-----	96
2) 식물체 생체중, 건물중 및 엽면적 측정-----	96
3) 토양 및 식물체 염류 성분 분석-----	96
4) 광합성율의 측정-----	97
2. 결과 및 고찰-----	98
1) 재식거리와 시기에 따른 광합성율의 차이-----	98
2) 재식거리에 따른 찰옥 2호의 생육 특성-----	100
3) 재식거리와 시기에 따른 찰옥 2호의 염축적량의 차이-----	102
4) 찰옥 2호 재식거리와 시기에 따른 토양의 염류축적량의 변화-----	107
5) 식물체내의 염류성분의 상호관계 -----	110

3. 결 과 요 약-----	111
제 5 절. Cleaning crop 재배후 후작물 오이, 호밀의 생육특성-----	112
1. 재료 및 방법 -----	112
1) 식물재료 및 토양염류조건-----	112
2) 식물체 생체중, 건물중 및 엽면적 측정-----	112
3) 토양 및 식물체 염류 성분 분석-----	112
4) 광합성율의 측정-----	113
5) 유효인산 및 질산태와 암모늄태 질소함량의 측정-----	113
2. 결과 및 고찰-----	114
1) 후작물 오이의 광합성율의 차이-----	114
2) 후작물 오이의 생육특성의 차이-----	115
3) 후작물 오이의 재배에 따른 토양 염류함량의 차이-----	116
4) 겨울 호밀을 재배했을 때 식물체내의 염류함량의 차이-----	117
5) 겨울 호밀을 재배했을 때 토양의 염류함량의 차이-----	118
3. 결과 요약-----	119
제 6 절 미백찰 옥수수의 내염성 특성과 cleaning crop의 제염효과 비교--	120
1. 재료 및 방법-----	120
1) 식물재료 및 토양염류조건-----	120
2) 토양 및 식물체 염류 성분 분석-----	120
3) 광합성율 및 엽록소 함량의 측정 -----	121
4) 삼투 포텐셜 측정 -----	121
5) 유리 proline 함량 측정-----	121
6) 식물체 생체중, 건물중 및 엽면적 측정 -----	121
2. 결과 및 고찰 -----	122
1) 미백찰 옥수수 재배에 따른 토양 염류함량의 차이-----	122

2) 미백찰 옥수수 잎의 유리 proline 함량의 차이	-----122
3) 미백찰 옥수수 잎의 수분, 삼투압 포텐셜의 차이	-----124
4) 미백찰 옥수수 잎의 엽록소 함량의 차이	-----125
5) 미백찰 옥수수 잎의 광합성율의 차이	-----126
6) 미백찰 옥수수 잎의 엽류 축적함량의 차	-----127
7) 세 가지 cleaning crop 재배 따른 토양 엽류축적의 변화	-----130
8) Cleaning crop들의 생육특성의 차이	-----130
3. 결 과 요 약	-----131
제 7 절. 엽류집적 중남부지역(영주) 시설재배지에서의 Cleaning Crop에 의한 엽류제거 기술개발	-----133
1. 재료 및 방법	-----133
1) 식물재료 및 토양엽류조건	-----133
2) 식물체 생체중, 건물중 및 엽면적 측정	-----133
3) 토양 및 식물체 엽류 성분 분석	-----133
4) 광합성율의 측정	-----134
2. 결과 및 고찰	-----135
1) 세 가지 cleaning crop 재배 따른 토양 엽류축적의 변화	-----135
2) Cleaning crop들의 광합성율의 차이	-----137
3) Cleaning crop들의 water potential 차이	-----138
4) 유효인산, 암모늄태와 질산태 질소 함량의 차이	-----140
5) Cleaning crop들의 생육특성의 차이	-----143
6) Cleaning crop들의 식물체내의 엽류 축적량의 차이	-----146
7) 후작물 배추의 생체중과 건물중의 차이	-----158
8) 겨울 호밀의 생체중과 건물중의 차이	-----158
3. 결 과 요 약	-----159
종합 인용문헌	-----161

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구 개발의 필요성

국민 식생활의 변화로 신선한 채소에 대한 수요가 증가함에 따라 연중 재배할 수 있는 시설재배 단지가 전국적으로 급격히 확대 보급됨에 따라 연간 비료 및 추비 사용량이 매 작기마다 사용됨에 따라 시설 재배지에 염류집적과 양분의 과잉집적에 의해 토양중 필수양분의 불균형, 작물의 수분흡수 저해, 염류농도 장애등 심각한 작물의 생육장애를 일으켜 수량을 저하시키므로 이를 극복하기 위한 염류제거 기술이 필요하다. 강원도내의 시설원예 재배지 토양의 집적된 염류 및 인산의 함유량은 유효 인산 함량은  $1,261\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 치환성 양이온 중 Ca 함량은 7.56, Mg는 2.16, K는  $1.57\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 으로써 시설재배지 토양 화학성 개량목표인 유효인산  $300\sim 500\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 치환성 양이온 Ca 2.5~3.0, Mg 0.8~1.0, K  $0.5\sim 0.75\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 을 기준(농업 기술 연구소, 1990)으로 보면 유효인산 및 치환성 양이온은 모든 지역이 개량목표 수준을 초과하여 제염기술의 개발이 필요하다. 염류가 집적된 토양에서 관수를 하면 제염효과가 있다. 그러나 다량으로 관수를 한 경우에도 기껏해야 15 - 20cm 밖에 스며 들지 않은 상태이기 때문에 일시적으로 관개수와 함께 염류는 밑으로 염이 내려 염은 즉시 표층으로 되돌아 온다. 이러한 염류를 효율적으로 제염하기 위해 Cleaning crop방법에 의한 토양제염은 효과가 있을 것이다. 시설재배는 조기 출하하여 많은 이윤을 얻기 위해 이용되는 작형인데, 작물 입장에서 보면 저온과 일조부족은 생리적 장애를 일으킨다. 이러한 장애를 극복하려고 비료를 많이 주어 토양에 염류가 집적되는 사례도 많이 일어나고 있다. 이러한 때에는 뿌리가 활발해져 약간의 고염류 농도는 극복할 작물의 생육에 알맞는 재배환경조건(온도, 광, 습도)을 유지할 필요성이 있다. 우리 나라의 인구는 늘고 경지 면적이 줄어들고 있는 시점에서 효율적으로 시설 재배지의 염류집적을 제거시켜 농지보전을 하여 농지의 품질과 경쟁력을 높일 수 있다고 사료된다. 효율적인 제염기술 개발이 실용화된다면, 친환경적 제염방법으로 시간을 단축할 수가 있을 뿐만 아니라, 양질

의 과채류의 확보를 통한 상품화율을 향상시켜서 농가소득을 높일 것이다. 비료시비의 과다로 인한 시설재배지의 염류집을 Cleaning crop에 의한 염류토양의 제거와 적정 시비수준의 체계확립으로서 작물의 생산성을 높일 수 있으며, 토양의 질산태 질소와 염류가 하천과 호수로 유입되는 것을 막아 생태적으로도 부영양화를 막을 수 있다.

## 제 2 절 국내외 기술 개발 현황

가까운 일본에서는 Cleaning crop에 의한 친환경적인 제염 방법을 최근에 시작한 단계이나, 아직 확실한 확립체계를 가지고 있지 않다.

국내에서도 최근 시설재배시 연작에 의한 염류집적, 토양 병충해의 점증 등으로 토양 내의 염류 제거에 대한 농민의 요구도가 매우 높은 편이나, 아직까지 구체적인 제거 기술이 확립되어 있지 못한 실정이다. 암거시설과 관수처리기술은 많은 시설비로 인해 농가에 부담이 되어 경제적인 측면에서 Cleaning crop방법에 의한 친환경적인 염류제거를 시행할 수 있으리라 사료된다.

## 제 3 절 연구 개발의 목적과 범위

### 1. Cleaning crop의 내염성 대사 구명

토양집적 시설재배지에 흡비력이 강한 작물인 옥수수, 수단그라스, 오차드 그라스, 호밀 등을 재배하여 토양내의 염류성분을 흡수 제거하는 작물을 Cleaning Crop이라 한다. 일반적으로 토양내의 염류성분을 제거하는데 관수나 다른 화학약품을 사용하여 실시하고 있으나 이는 다른 토양과 하천의 오염을 초래하고 경제적인 면에서도 경비가 많이 드는 어려움이 있다.

염해는 토양중의 염류과잉으로 인하여 작물의 생육장해가 일어나는 것을 말한다. 염해의 정도는 염류의 농도외에 염류의 종류와 작물의 종류에 따라서도 다르다. 시설재배지 내에서의 다비로 인하여 생기는 비료염의 종류는 암모니움 염과 초산염, 마그네슘 염 등이 식물생리작용에 크게 장해를 준다. 본 실험에서

는 Cleaning Crop과 일반 작물의 고염류농도에서 발아생리의 특성, 수경재배에 의한 유묘기의 내염성 특성을 구명하기 위하여 광합성, 엽록소 함량의 변화, 아미노산 함량의 변화, 식물체 내의 염류 축적을 조사하여 내염성 특성을 밝히고자 하였다. Cleaning Crop 의 염류 농도별 아미노산(proline) 함량을 비교하며, 수분포텐셜과 광합성 율, proline 함량과의 상관관계에 대하여 조사하였다.

## 2. 환경조절실에서 포트재배시 cleaning crop들의 염류 농도별 내염성 특성

염류토양은 제염효과 중에서 관수에 의한 효과는 높다. 그리하여 환경조절실에서 일정 온도, 습도 조건하에서 염류축적된 포트에 cleaning crop을 재배하였을 시 관수조절은 cleaning crop에게 어떻게 생장에 영향을 주는가를 분석하였다. 관수상태가 좋은 처리구의 포트와 수분스트레스를 준 처리구 포트의 광합성율을 측정하고, 식물체내의 염류함량과의 관계를 분석하였다.

## 3. 염류집적 시설재배지에서의 cleaning crop 재배에 의한 제염기술개발

일반적으로 우리 나라에 있어서는 다소 강우량이 많은 편이라 농지의 축적된 염류는 유실되고 특수한 경우를 제외하고는 염류집적이 심하지는 않다. 그러나 최근에 비닐하우스의 보급으로 시설재배 시 토양내의 염류의 집적이 문제가 되고 있으며, 시설재배농가의 하우스내에서 재배되는 작물은 많은 비료를 시용하면서 연작을 하기 때문에 염류의 집적이 심각하게 진행되고 있다. 특히 하우스 내에서는 강우의 영향을 받지 않아 염류제거가 원활치 않으며 관수나 토양객토 등으로만 제염을 할 수 밖에 없다. 염류가 집적된 토양에서 관수를 하면 제염효과가 있다. 그러나 다량으로 관수를 한 경우에도 기껏해야 15 - 20cm 밖에 스며 들지 않은 상태이기 때문에 일시적으로 관개수와 함께 염류는 밑으로 염이 내려 염은 즉시 표층으로 되돌아 온다. 이러한 염류를 효율적으로 제염하기 위해 Cleaning crop방법에 의한 토양제염 개발을 하였다. 직접 농가의 시설 재배지를 중북부(춘천)과 중남부(영주)지역을 선택하여 실시하였는데, 시설재배지의 염류의 축적은 있었으나 일률적인 염류축적토양과 축적되지 않은 토양을 인위적으로 조성하였다. Cleaning crop으로 옥수수, sudan grass, 호밀을 선택하여

재식밀도 별 생장분석, 광합성 율, 수분 포텐셜과 재배시기에 따른 식물체 부위 별 염류함량을 비교 분석하였다. 또한 Cleaning crop재배 후 토양염류 함량의 제거 및 변화를 조사하였으며, 후작물로 오이, 배추 등의 생육을 분석하였다. 또한 두 지역의 토양성분에 따른 Cleaning crop재배기술의 차이점을 분석하였다.

## 제2장. Cleaning Crop의 내염성 대사 구명

### 제 1 절 서 론

Cleaning Crop이란 토양집적 시설재배지에 흡비력이 강한 작물인 옥수수, 수단 그라스, 오차드 그라스, 호밀 등을 재배하여 토양내의 염류성분을 흡수 제거하는 작물로서 토양내의 염류성분을 제거하는데 관수나 다른 화학약품을 사용하지 않는 것을 말한다. 시설 재배지의 염류집적토양의 제거를 위하여 Cleaning Crop과 유기물 시용이 이루어지고 있으나 아직까지 작물별로 얼마 만큼 토양내의 염류의 제거 정도와 식물생육 조건에 따른 제염 기술이 확립되지 않고 있는 실정이다. 염해 발생의 기구는 실제로는 여러 가지의 환경요인에서 보면 간단하지 않으나, 주로 다음 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 토양용액중의 염류의 삼투압에 의해 식물의 흡수저해가 있으며, 둘째는 염을 구성하고 있는 각각의 이온의 특이적인 생리작용에 의해 큰 해를 입을 수 있다. 즉, 염해에는 크게 나누어서 삼투압스트레스와 이온스트레스가 있다. 염류의 삼투 스트레스는 토양의 건조에 의한 수분 포텐셜의 저하에 스트레스의 강도를 나타내는 것이 가능하다. 수분 포텐셜의 저하는 흡수를 곤란하게 하며, 세포의 팽압을 잃게 되어서, 기공 개도의 저하, 엽신의 위조, 광합성산물의 전류저해 등이 일어나게 된다.

일반적으로 작물은 염분조건하에서 발육억제, 엽록소 합성 저하, 엽면적 감소, 생육저해, 광합성 및 호흡 저해, 효소활성 저해 등을 일으킨다(Lee and Hong, 2000; Beatriz et al, 2001; Shalhevet et al, 1995). 이러한 염류 스트레스에 의해 작물의 생산성이 저하할 뿐만 아니라 품질의 저하를 유발한다. 그러나 어느 정도의 염농도 증가는 토마토 품질 특히 당함량의 증가와 같은 품질향상을 증가시킨다고 하였다(Balibrea et al, 1997).

염해에 의해 식물은 노화현상이 가속화시키고, 특히 광합성능은 세포내 이온의 균형과 구획화에 크게 영향받는데, 염스트레스하에서는  $\text{Na}^+$ 와  $\text{K}^+$  적정농도의 균형이 파괴되고(Michael et al, 1994, volkmar et al, 1998), 또한 수분의 흡수가

억제되어 기공전도도가 낮아지며(Mohammad, 1994), 증산작용도 저하하여 (Abou-Hadid, 1992) 식물의 광합성이 저하한다고 하였다.

식물의 염류장애는 고농도로 존재하는 특정 이온의 독작용 또는 식물 배지에 존재하는 염이 원인이 된 water potential의 저하와 토양의 과다로 식물의 수분 흡수를 저해에 기인한다는 보고도 있다(Megel and Kirkby, 1978).

염은 식물체의 대사과정에 많은 영향을 미친다. 내염성이 강한 작물의 경우 수분부족 시와 마찬가지로 유리아미노산, 특히 proline의 축적이 두드러진다. Proline은 식물의 생육조건이 좋을 때는 소량으로 나타나는 아미노산이지만 염해나 한해 등의 생리적으로 나쁜 조건하에서는 체내에 다량으로 축적된다고 하였다(Singh et al, 1972; Xiaomu et al, 1995). 염에 대한 식물의 반응에서 proline은 세포질과 세포간극 사이의 막삼투압, 효소 방어제, 세포질의 pH에 각각 작용하여 proline의 집적량이 내성과 관여한다고 하였다(James and Binzel, 1996)

옥수수는 식물체가 크고 햇빛을 이용한 탄소동화 능력이 월등한 C<sub>4</sub>작물로서 흡비력이 강하여 상당양의 비료를 흡수하여 빠르게 성장하는 작물이다(Marschner, 1986). 또한 생리적으로 광합성능력과 발근력이 왕성한 품종일수록 내염성이 크다고 하였다(Choi et al, 1997). 옥수수 뿌리를 만니톨 혹은 KCl에 노출시키면 30분내에 수분 포텐셜과 신장율이 즉시로 감소된다고 보고하였고(Frensch and Hsiao, 1994), 염류에 의한, 옥수수 유묘기에서 낮은 뿌리 신장은 control levels에 남아 있는 삼투압 내에서 변화들에 기여하지 않고 세포벽을 더 단단하게 하고(neumann et al, 1994), 뿌리에서의 Ca<sup>2+</sup> 집적은 NaCl의 반응에 중대한 것으로서 알려 졌다( Evlagon et al, 1992; Zhong and Lauchli, 1994). 100 mM의 NaCl처리에 의해 옥수수 유묘의 뿌리초기 생장이 크게 억제를 받았는데, 무처리구에서 유묘의 뿌리길이가 7 mm 이었지만, 100 mM 처리구에서 4 mm 이었다(Zidan et al, 1990).

## 제 2 절. 재료 및 방법

### 1) 발아율 측정

Cleaning Crop 및 일반 작물의 염류농도별 발아성장 분석을 하기 위하여 내염성에 약한 상추, 토마토, 갓, 배추와 내염성이 강한 Cleaning crop인 옥수수, sudan grass, italian rye grass, buck wheat의 종자 100 입을 3반복으로 염류(Mg, Ca, K)를 0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM를 여과지를 깔은 petri dish에 각각 처리하였다. 염류의 용액은 2일에 한번씩 100 ml를 첨가하였다. 조사 항목은 발아율, 발아세 그리고 발아일수를 조사하였다.

### 2) 수경재배

Cleaning Crop의 선발 및 내염성 비교 분석을 하기 위하여 내염성에 약한 상추, 토마토와 내염성이 강한 Cleaning crop인 옥수수, sudan grass, italian rye grass를 육묘상에서 20일 동안 성장시켰다가 수경액 용액으로 만든 수경재배 상자에 이식시킨 후 염류(Mg, Ca, K)를 0 mM, 50 mM를 처리하고 7일 후 LAC-4 광합성 system기기를 이용하여 처리조건별로 처리간 3반복으로 실시하여 광합성 율, 기공 전도도, 엽내 CO<sub>2</sub>농도를 측정하였다.

### 3) 식물 재료

찰옥2호 옥수수(*Zea mays* L.)를 육묘상에서 25일 동안 성장시켰다가 수경재배 상자에 이식하여 염처리(NaCl) 0 mM, 50 mM 및 100 mM로 처리하여, 1일 후, 4일 후, 7일 후 실험조사를 3반복으로 수행하였다.

### 4) 광합성 측정

휴대용 광합성 측정장치인 LAC-4(Analytical Development Company, Ltd. UK)를 이용하여 잎의 광합성율(LPS: Leaf photosynthetic rate)를 처리구별로 실시하였으며 동시에 기공전도도(Gs: stomatal conductance)와 엽내 CO<sub>2</sub>농도(Ci: intercellular CO<sub>2</sub> concentration)도 함께 측정하였다.

#### 5) 삼투 포텐셜 측정.

잎의 osmotic 포텐셜은 광합성을 측정할 잎을 갈아서 즙액을 만든 후 chamber에 0.8  $\mu$ l를 주입한 다음 25분 동안 안정시킨 후 수분포텐셜 측정기(HR-33T Dew point Microvoltmeter, INC. USA)에 연결시켜 측정하였다.

#### 6) 유리 Proline 함량 측정.

유리 proline 함량의 측정은 Troll과 Lindsley(1955)법에 의한 Photometric method를 이용하였다. 지상부 생체 1.0g을 원심분리관에 액화질소를 넣어 마쇄하였다. 마쇄용액에 MCW액(methanol : chloroform : water = 12 : 5 : 1) 10 ml를 가하여 5,000 rpm에서 4  $^{\circ}$ C, 10분간 원심분리 하였다.

원심분리가 끝난 후 상등액 2ml를 취하여 빙초산 3ml와 ninhydrine reagent (ninhydrine : 빙초산 : 6M-phosphoric acid = 6.25 g : 150 ml : 100 ml) 3 ml을 가한 후 1시간 Water bath에서 끓인 후, 상온에서 냉각 후 Toluene 5 ml을 가하고 수직진탕기에서 진탕한 뒤, 하루 밤 방치 후 spectrophotometer의 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. 유리 proline의 표준곡선을 얻기 위하여 L-proline을 사용하였다.

#### 7) 식물체 염류 성분 분석

식물체의 염류 성분 분석은 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 구체적인 실험 방법은 식물체의 성분분석을 위하여 건조기에서 수분이 완전히 건조된 시료를 뿌리, 줄기 및 잎으로 나누어 건물중을 측정하고 가루를 낸 다음 회분을 약 1 g 정도로 취해서 도기 그릇에 넣어 630  $^{\circ}$ C에서 6시간 30분동안 전기로에서 태운다. 냉각한 다음 각 도기 그릇에 4N HCl 1 ml를 넣고 유리막대기로 저어 충분히 반응한 다음 여과하여 100 ml의 환저 플라스크에 정량한 다음 삼각 플라스크에 깔때기를 이용하여 여과시킨 후 원자 흡광기(Atomic absorption spectrophotometer)를 이용하여 양이온의 함량을 측정하였다

### 제 3 절 결과 및 고찰

#### 1) Cleaning Crop 및 일반 작물의 염류농도별 발아생장 분석

표 1-1에서는 시금치, 토마토, rye grass와 sudan grass를 Mg, Ca 그리고 K를 무처리, 50 mM, 75 mM, 150 mM을 각각 처리하였을 시 발아율, 발아세, 발아 일수를 조사하였다.

현재까지 알려진 바로는 시금치, 토마토는 염류에 약한 식물이며, Cleaning crop인 rye grass, sudan grass와 옥수수는 염류에 강한 식물로 알려져 있다. 상추와 갓은 다른 작물에 비하여 낮은 발아율을 나타냈으며, 상추와 토마토는 75 mM 처리에서는 발아세가 낮았으며, 발아 일수도 10.9일, 7.7일로 rye grass와 sudan grass에 비하여 오래 걸리는 것을 알 수 있었다.

150 mM 처리구에서는 상추와 토마토는 전혀 발아가 되지 않고, 내염성이 강한 옥수수는 그리 높은 발아율을 보이지 않았으나 rye grass와 sudan grass는 150 mM의 고농도의 염류조건에서도 각각 76 %, 88 %의 높은 발아율을 유지하였다.

Table 1-1. 고농도 염류조건하에서 Cleaning crop과 일반 작물의 발아율 차이.

Crops	Salt treatment	Germiantion percentage	Seed vitality	Germination day
Rye grass	0	74.0±10.6	70.7±9.9	3.5±0.1
	50 mM	64.0±7.2	62.7±6.1	3.5±0.1
	75 mM	64.0±6.9	62.7±7.6	3.4±0.1
	150 mM	56.0±11.1	56.0±11.1	3.7±0.3
Sudan grass	0	94.0±0	94.0±0.0	1.1±0.1
	50 mM	90.0±0.0	90.0±0.0	1.2±0.1
	75 mM	90.7±3.1	90.7±3.1	1.2±0.1
	150 mM	83.3±9.5	83.3±9.5	1.2±0.1
Buck wheat	0	75.3±5.0	75.3±5.0	1.2±0.1
	50 mM	87.4±4.0	86.0±6.0	2.0±0.0
	75 mM	86.0±11.0	84.0±10.0	2.0±0.0
	150 mM	77.3±3.1	77.3±3.1	4.1±0.3
Corn	0	93.3±1.2	92.7±1.2	2.1±0.0
	50 mM	71.7±3.3	62.8±3.5	3.5±0.2
	75 mM	65.0±6.7	55.0±12.0	3.9±0.4
	150 mM	30.7±10.1	23.3±9.0	7.5±0.2
Chinese Cabbage	0	98.7±1.2	96.0±3.5	1.3±0.1
	50 mM	93.0±4.0	93.0±3.0	2.0±0.0
	75 mM	94.3±2.1	94.3±2.1	2.6±0.1
	150 mM	48.7±9.9	48.7±9.9	4.8±0.4

(Table 1-1 계속)

Mustard	0	75.3±10.1	65.3±1.0	2.1±0.1
	50 mM	37.3±2.3	37.3±2.3	3.1±0.3
	75 mM	14.0±9.2	10.7±8.1	4.9±1.0
	150 mM	0	0	0
Lettuce	0	97.3±2.3	94.7±3.1	2.7±0.4
	50 mM	98.0±3.5	29.3±17.5	7.9±0.5
	75 mM	40.0±23.1	2.7±4.6	10.9±0.6
	150 mM	0	0	0
Tomato	0	98.0±3.5	98.0±3.5	2.6±0.0
	50 mM	98.0±2.0	74.0±29.9	5.7±1.1
	75 mM	84.7±7.6	41.3±23.4	7.7±1.1
	150 mM	0	0	0

## 2) 수경재배시 Cleaning Crop 및 일반 작물의 염류농도별 내염성 특성 분석

표 2에서는 상추, 토마토, rye grass와 sudan grass를 20일간 수경재배를 하면서 Mg, Ca, K를 25 mM, 50 mM을 각각 7일간 처리하였을 시 광합성율, 기공전도도, 세포간 CO<sub>2</sub>농도를 조사하였다. 염류에 약한 작물인 상추, 토마토는 , sudan grass에 비하여 광합성 율이 현저하게 저하됨을 알 수 있었으며, 기공전도도도 낮게 나타났다. 50 mM에서는 상추와 토마토는 광합성율과 기공전도도가 극히 저하되어, 염류에 의한 기공의 단처짐으로서 광합성을 전혀 하지 못하였다. 세포간 CO<sub>2</sub>농도도 심한 농도의 불균형을 이루어 광합성효율이 저하됨을 알 수 있었다. 일반작물과 Cleaning crop 의 유식물간의 염류장해는 50 mM 농도에서 뚜렷한 생육장해가 일어남을 알 수 있었다.

Table 1-2. Cleaning crop과 일반작물 유식물의 수경재배시 염류농도에 따른 광합성율의 차이.

Crops	Salt treatment	A <sup>1</sup>	Gs	Ci
		( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	(ppm)
Lettuce	0 mM	5.01±0.1	0.42±0.12	281.0±5.4
	25 mM	3.04±0.06	0.23±0.00	274.0±11.2
	50 mM	0.37±0.08	0.00	393.9±10.9
Tomato	0 mM	3.02±0.08	0.27±0.01	272.5±17.7
	25 mM	1.10±0.13	0.17±0.02	248.5±13.6
	50 mM	0.18±0.03	0.00	479.4±6.6
Rye grass	0 mM	16.21±0.65	0.60±0.04	264.8±9.1
	25 mM	9.61±2.23	0.44±0.02	273.7±8.9
	50 mM	3.97±0.09	0.25±0.05	348.9±43.6
Sudan grass	0 mM	12.39±0.42	0.65±0.01	291.4±24.3
	25 mM	7.61±2.23	0.44±0.02	273.7±8.9
	50 mM	2.81±0.40	0.13±0.04	309.5±52.9

<sup>1</sup>A; Leaf photosynthetic rate, Gs; Stomatal conductance  
Ci; Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

### 3)찰옥2호 수경재배시 염류농도별 내염성 특성

#### ① 염처리 농도에 따른 광합성율 차이

표 1-3에서는 옥수수 유식물이 수경재배시 염류 농도에 따른 광합성율, 기공전도도, 세포간 CO<sub>2</sub> 농도 차이를 나타낸 것인데, 염처리 농도가 높아짐에 따라 광합성율, 기공전도도가 현저하게 감소하였으며, 또한 시일 지나면서 염처리 50 mM에서는 무처리구의 광합성율의 86 ~ 90 %로서 무처리와 염처리 50 mM 사이엔 별 차이를 나타나지 않지만, 염처리 100 mM에서는 염처리 1일 후에는 무처리구 광합성율의 76 %였으며, 염처리 7일 후에는 무처리구 광합성율의 31%로서 현저하게 감소하였다. 또한 염처리 100 mM에서 염처리 1일 후에는 무처리구 기공전도도의 75 %였으며, 염처리 7일 후에는 무처리구 기공전도도의 33%로 현저하게 감소하였다. 광합성율과 기공전도도는 서로 밀접하게 작용하여 고도의 높은 정의 상관관계를 보였다. 기공전도도는 정상으로 성장하는 식물의 앞에서 기공의 개도를 진단하는 지수로 사용되는데 기공은 CO<sub>2</sub>의 확산 통로일 뿐만 아니라 증산통로이기도 하다. 염처리에 의한 기공전도도의 감소는 증산에 의한 수분의 손실을 억제하려는 방어 기작으로 기공전도도가 광합성과 상관이 있는 것은 당연한 결과일 것이다. 저농도 50 mM 경우에는 식물체가 염해를 그다지 받지 않지만 고농도 100 mM 경우에는 염류에 의한 기공의 닫혀짐으로서 광합성율이 크게 저하됨을 알 수 있는데, 높은 염류에서 광합성의 감소는 기공전도도의 감소의 원인이라고 보고(Xu et al, 1994)와 또한 담배의 광합성은 염스트레스하에서 염농도가 높아짐에 따라 크게 감소하였다는 보고(Lee et al, 1998)와 일치한 결과를 나타냈다.

Table 1-3. Time course change of in leaf photosynthetic rate of the Chalok-2 grown in hydroponic with different NaCl treatment.

Date	NaCl treatment	A <sup>1</sup>	Gs	Ci
		( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	(ppm)
1 day <sup>2</sup>	0 mM	21.55±0.55(100)*	0.16±0.01	148.2±14.3
	50 mM	19.35±0.70(90)	0.12±0.01	110.7±17.4
	100 mM	16.45±0.66(76)	0.12±0.01	140.6±17.6
4 days	0 mM	19.00±1.08(100)	0.16±0.02	114.2±9.4
	50 mM	16.29±0.14(86)	0.12±0.00	99.6±6.6
	100 mM	9.38±0.78(49)	0.07±0.00	90.2±1.7
7 days	0 mM	15.81±0.66(100)	0.12±0.01	105.7±10.7
	50 mM	14.16±0.24(90)	0.10±0.01	109.3±13.7
	100 mM	4.95±0.44(31)	0.04±0.00	120.1±12.7

<sup>1</sup>A; Leaf photosynthetic rate, Gs; Stomatal conductance  
Ci; Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

<sup>2</sup>Days after salt treatment

\*; Figures in the parentheses are percentage ratio to the control

## ② 염처리 농도에 따른 잎 즙액의 삼투압 포텐셜차이

그림 1-1에서는 찰옥2호 유식물이 수경재배시 염류 농도에 따른 잎 즙액의 삼투압 포텐셜의 차이를 나타낸 것인데, 잎 즙액의 삼투압 포텐셜은 염처리 1일 후 50 mM 처리구에서는 무처리구에 비하여 1.20배, 100 mM 처리구에서는 1.58배로 감소하였고, 염처리 7일 후 50 mM 처리구에서는 무처리구에 비하여 1.15배, 100 mM 처리구에서는 1.64배로 감소하여 염처리 농도가 높아짐에 따라 삼투압 포텐셜의 감소를 나타냈다. 50 mM 처리구에서는 염처리 4일, 7일 후에는 거의 차이가 없었지만, 100 mM 처리구에서는 시일이 지나면서 감소의 폭이 커짐을 알 수 있었다. Lutts 등은 잎의 수분포텐셜이 염스트레스에 영향을 받아 크게 낮아지는 것은 세포내에 유기용질이나 무기용질의 축적에 의한 것이라고 보고하였다(Lutts et al, 1995). 식물의 수분 potential이  $-2.0$  MPa 이하로 감소하면 식물체는 정상적인 생장이 어려우며, 세포분열의 억제, 세포벽과 단백질 합성의 억제, 용질의 축적, 기공의 닫힘과 광합성의 억제를 일으키며, 더욱 심하면 결국엔 고사한다는 보고하였다(Katsuhiko et al, 1996).

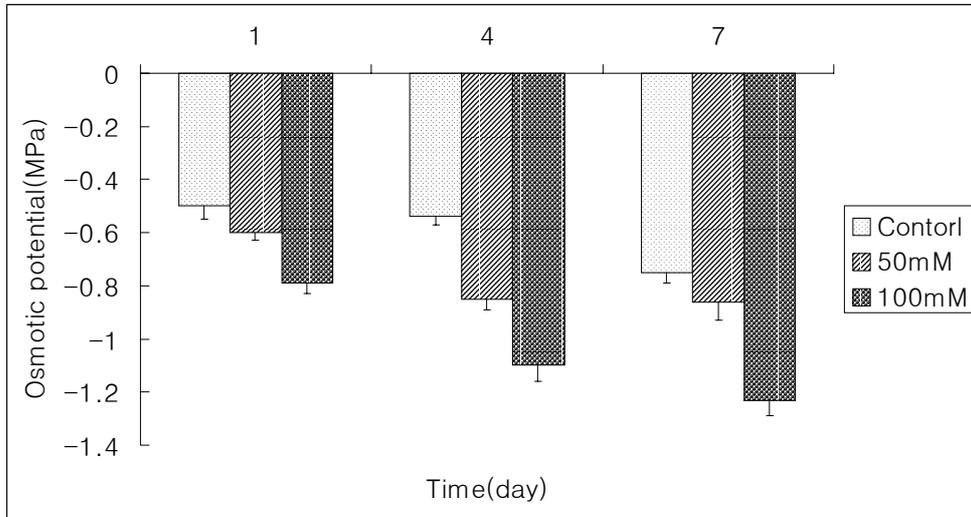


Fig. 1-1. Changes of osmotic potential of Chalok-2 leaf after 1, 4 and 7 days in hydroponic cultivation with different NaCl treatments.

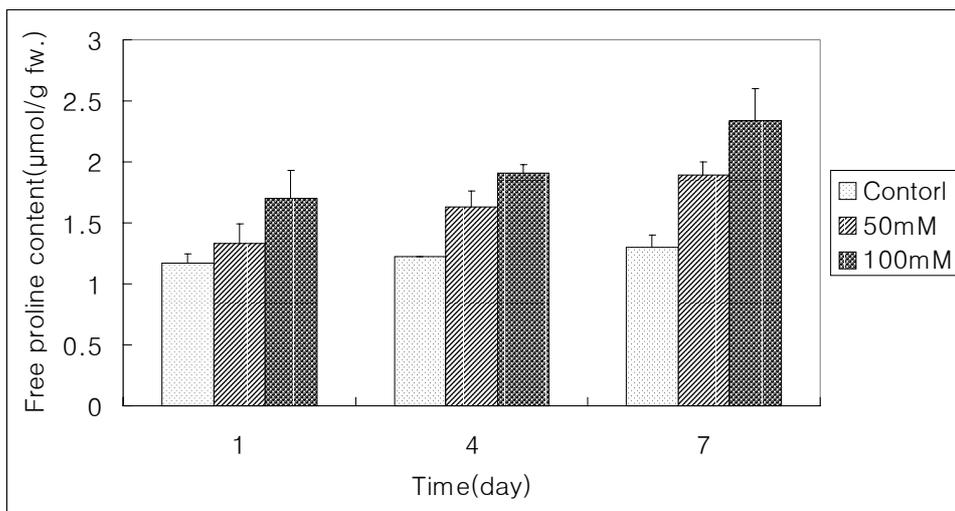


Fig. 1-2. Changes of free proline content of Chalok-2 after 1, 4 and 7 days in hydroponic cultivation with different NaCl treatments.

### ③ 염처리 농도에 따른 지상부 유리 proline 함량차이

그림 1-2에서는 찰옥2호 유식물이 수경재배시 염류 농도에 따른 지상부 유리 Proline 함량의 차이를 나타낸 것인데, 염처리 1일후 50mM 처리구에서는 무처리구에 비하여 1.14배, 100 mM 처리구에서는 1.45배로 증가하였고, 염처리 7일 후는 50 mM 처리구에서는 무처리구에 비하여 1.45배, 100 mM 처리구에서는 1.80배로 증가하여 염처리 농도가 높아짐에 따라 유리 proline 함량이 증가하였으며, 또한 시일이 지나면서도 유리 proline 함량의 증가를 보였다. 식물은 정상적인 세포 대사를 유지하고 세포 구성분을 보호하기 위해 다양한 방어 시스템을 이용하며, 염류 장애를 극복하는데 이때 식물에서 가장 일반적으로 발생하는 현상이 osmoprotectants의 축적이라고 한다. 이는 벼에서 NaCl농도 증가에 따라 proline 함량이 현저히 증가하였다는 보고(Lee et al, 1992)와 감자에서 식물체가 염해를 받을 때 proline 함량을 축적하여 식물체내 삼투조절한다는 보고(Heuar and Nadler, 1998)와 일치한 결과를 나타내고 있다.

식물이 수분부족에 처하게 되면 proline의 전구체인 glutamic acid의 carboxy group이 aldehyde group으로 환원됨으로서, proline이 합성되며 체내에서 합성된 proline은 다른 부위로 전류 한다고 하였다(Hanson, 1979). NaCl가 proline 축적을 유도하는  $\Delta$ -pyrroline-5-carboxylase의 활성을 촉진한다고 하였다(Huber, 1974). 한해나 염해 조건에서 유리 아미노산이 증가하는 것은 단백질의 분해, 아미노산의 단백질합성 억제, 광합성 억제에 따른 대사과정의 복합적 요인 때문으로 볼 수 있으며 유리 아미노산 함량의 대사 적인 측면에서 볼 때 부적환경에 대한 적응성으로 볼 수 있다고 하였다(Choi et al, 1997).

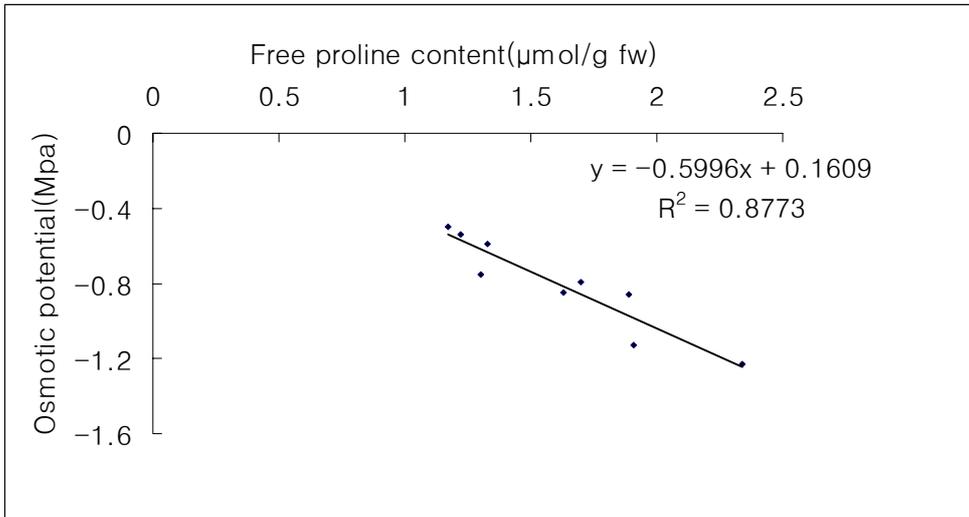
#### ④ 염처리에 따른 지하부의 염류함량의 차이

표 1-4에서는 찰옥2호 유식물이 수경재배시 염류 농도에 따른 지하부 염분함량의 차이를 나타낸 것인데,  $K^+$ 함량은 염처리 50 mM 처리구에서 제일 낮게 나타났고, 무처리와 100 mM 처리구사이에서는 큰 차이가 나타나지 않았다.  $Mg^{++}$ 함량은 무처리구가 염처리구보다 높게 나타났으며, 염처리구에서 시일이 지나면서 염처리 농도가 높아짐에 따라  $Mg^{++}$ 함량의 감소를 나타냈다.  $Ca^{++}$ 함량은 무처리구와 100 mM 처리구에서는 시일이 지나면서 큰 차이가 없었지만, 50 mM 처리구에서는 염처리 4일 후에 제일 높았다.  $Na^+$ 함량은 무처리구와 염처리구 사이에 큰 차이를 보였는데, 또한 염처리 농도가 높음에 따라 시일이 지나면서 더 높아져서, 염처리 1일 후 50 mM 처리구에서는 무처리구의 1.6배, 100 mM 처리구에서는 2.2배로 염처리 7일 후는 각각 2.7배, 3.6배로 나타났다. 내성 품종이 감수성 품종보다  $Na^+$ 함량이 적다고 하였다. 일반적으로 염해에 의한 세포내 이온들의 변화시 중요한 사항은 세포내에서 어느 정도 빨리 이온의 균형이 이루어져 막투과성과 세포내 삼투압의 균형을 이루는가에 따라 내성과 비내염성으로 표현될 수 있다. 염해에 의해 식물은 노화현상이 가속화시키고, 특히 광합성능은 세포내 이온의 균형과 구획화에 크게 영향받는데, 염스트레스하에서는  $Na^+$ 와  $K^+$  적정농도의 균형이 파괴되고(Michael et al, 1994, volkmar et al, 1998), 또한 수분의 흡수가 억제되어 기공전도도가 낮아지며(Mohammad, 1994), 증산작용도 저하하여(Abou-Hadid, 1992) 식물의 광합성이 저하한다고 하였다.

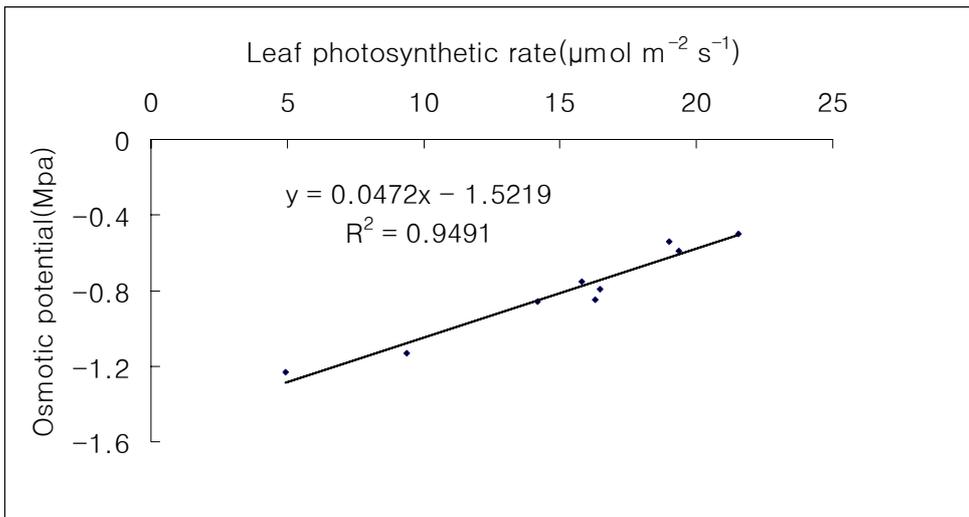
Table 1-4. Time course changes of in leaf salt contents of Chalok-2 grown in hydroponic with different NaCl treatment.

Date	NaCl treatment		% to the dry weight			
			K	Mg	Ca	Na
1 day <sup>1</sup>	0	mM	1.80±0.16	0.42±0.01	0.13±0.02	1.17±0.03
	50	mM	1.79±0.11	0.36±0.04	0.10±0.00	1.92±0.20
	100	mM	1.94±0.16	0.40±0.02	0.11±0.01	2.60±0.03
4 days	0	mM	1.96±0.29	0.40±0.05	0.12±0.03	1.20±0.06
	50	mM	1.78±0.19	0.33±0.02	0.15±0.00	2.64±0.19
	100	mM	1.82±0.06	0.30±0.02	0.09±0.01	3.62±0.32
7 days	0	mM	2.00±0.14	0.39±0.00	0.12±0.00	1.05±0.17
	50	mM	1.60±0.17	0.28±0.02	0.09±0.02	2.85±0.21
	100	mM	1.98±0.06	0.26±0.06	0.10±0.02	3.79±0.34

<sup>1</sup>Days after salt treatment



**Fig. 1-3. Relationship between free prloine content and osmotic potential of Chalok-2 in hydroponic cultivation with different NaCl treatment**



**Fig. 1-4. Relationship between leaf osmotic potential and leaf photosynthetic rate of Chalok-2 in hydroponic cultivation with different NaCl treatment.**

## ⑤ 주요 형질간이 상관

염처리시 찰옥2호 잎의 삼투압 포텐셜과 유리 proline 함량은 높은 정의 상관관계를 보이고 있는데(그림 1-3), 이는 감자에서 식물체가 염해를 받을 때 chloride와 proline을 축적하여 식물체내 삼투조절 한다고 하는 보고(James and Binzel, 1996) 와 염으로 인한 세포의 수분 스트레스를 보완하기 위한 자구책으로 proline이 합성되어 삼투조절제로 중요한 역할을 한다고 하는 보고(McNulty, 1985)와 일치한 결과를 나타내고 있다.

염처리시 찰옥2호 잎의 삼투압 포텐셜과 광합성율은 높은 정의 상관관계를 보이고 있는데(그림 1-4), 즉 삼투압 포텐셜이 높을수록 광합성율은 증가하고 삼투압 포텐셜이 낮을수록 광합성율은 감소하였다. 염처리에 의해 뿌리의 활성이 저하하면서 물의 흡수가 감퇴되고 삼투압 포텐셜은 낮아지고 기공전도도가 저하되어 광합성율의 감소를 야기 시킨 것으로 사료된다. 대부분의 작물생육에 장애가 오는 잎의 수분 포텐셜은 0.07 MPa 이하이고, 이때 수분의 흡수가 억제되어 기공 전도도가 낮아지고, 광합성 속도가 감소한다(Mohammed, 1994). 이것은 또한 수분 부족이 광합성율의 저하를 야기 시킨 결과(Katsuhiko et al, 1996)와 일치하고 있다.

#### 제 4 절 결 과 요 약

1) 상추와 토마토는 75 mM 처리구에서는 발아세가 낮았으며, 발아 일수도 10.9 일, 7.7일로 Rye grass와 Sudan grass에 비하여 오래 걸리는 것을 알 수 있었다. 내염성이 강한 옥수수는 고농도에서는 그리 높은 발아율을 보이지 않았으나 rye grass와 sudan grass는 150 mM의 고농도의 염류조건에서도 각각 76 %, 88 %의 높은 발아율을 유지하였다.

2) 수경재배 시 염류에 약한 작물인 상추와 토마토는 sudan grass에 비하여 광합성율이 현저하게 저하됨을 알 수 있었으며, 기공전도도도 낮게 나타났다. 50 mM 처리구에서는 광합성율과 기공전도도가 극히 저하되어, 염류에 의한 기공의 닫혀짐으로서 광합성율이 저하됨을 알 수 있다.

3) 옥수수 유묘기 수경재배시, 광합성율은 무처리구와 염처리 50 mM사이엔 큰 차이를 나타내지 않았지만, 염처리 100 mM에서는 염처리 1일, 4일, 7일 후에서 각각 무처리구의 76 %, 49 %, 31 %로 현저하게 저하하였다. 잎의 즙액 삼투압 포텐셜은 염처리 농도가 높아짐에 따라 현저하게 감소하였지만, 지상부의 유리 proline 함량과 지하부의  $\text{Na}^+$  함량은 염처리 농도가 높아짐에 따라 또한 시일이 지나면서 증가하였다. 광합성과 기공전도도 사이에, 삼투압 포텐셜과 광합성 사이에, 기공전도도와 삼투압 포텐셜 사이에는 높은 정의 상관관계를 보였지만, 삼투압 포텐셜과 proline 함량 사이에는 높은 부의 상관관계를 보였다.

# 제 3 장. 식물환경조절실에서 포트재배시 Cleaning crop의 내염성 특성

## 제 1 절 서론

염해는 토양중의 염류과잉으로 인하여 작물의 생육장해가 일어나는 것을 말한다. 염해의 정도는 염류의 농도외에 염류의 종류와 작물의 종류에 따라서도 다르다. 시설재배지 내에서의 다비로 인하여 생기는 비료염의 종류는 암모늄염과 초산염, 마그네슘 염 등으로 식물생리작용에 장해를 일으킨다.

염에 의한 저해를 받은 식물 세포에서는 탈수 및 염의 유입에 의하여 세포내 염분 농도의 증가가 일어나며, 또한 토양중에 축적된 염에 의하여 토양의 수분 포텐셜이 낮아져 수분 흡수를 저해할 뿐만 아니라, 선택적인 특정염의 흡수에 의하여 생육에 필요한 다른 이온 흡수의 저해를 일으킨다(Kown et al, 1995; Sharma and Hall, 1991; Yancey et al, 1982). 또한 이러한 이온의 불균형 흡수는 식물체들의 호흡이나 광합성 등 생리적 활성을 저해를 일으키며(Heuer and Nadler, 1998), 식물체는 대사조절 기능을 가진 효소가 장해를 입어 생장과 발육을 저하시켜 생산성의 저하를 초래한다(Choi et al, 1997a, 1997b).

염해의 정도는 염류의 농도 외에 염류의 종류와 작물의 종류에 따라서도 다르다. 염해 발생의 기구는 실제로는 여러 가지의 환경요인에서 보면 간단하지 않으나, 주로 삼투압차이에서 오는 수분장해, 토양입단 형성불량에 의한 투수 통기장해, 양분상호간 농도차이에서 생기는 생리적 양분흡수장해, 식물체내에 흡수된 성분간 불균형에서 나타나는 영양장해, 토양에서 발생하는 가스장해와 이로 인한 식품으로서의 품질저하 등이다.

염해에 대한 저항성 정도는 작물의 생육시기별로, 품종간에 차이가 있다는 보고가 많은데, 옥수수는 광을 이용한 탄소동화 능력이 월등하며 흡비력이 강하기 때문에 상당한 양의 비료를 흡수하며 빠르게 성장하는 작물이다(Marschner,

1986). 또한 생리적으로 광합성 능력과 발근력이 왕성한 품종일수록 내염성이 높다고 하였다(Choi et al, 1997a).

Sudan grass(*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf)는 화본과에 속하는 1년생 사료작물로서 전 세계적으로 재배되고 있다. 여러 나라들에서 방목, 풋베기, 건초, 사일리지용으로 옥수수, 알파파 등과 함께 널리 재배하고 있다.

밭작물의 내염성은 작물에 따라 다양하여 보리와 밀, 사탕무, 목화, 유채, 사료작물, 수수 및 토마토 등은 강한 편이고 땅콩, 완두, 감자, 고구마, 옥수수 등은 약한 것으로 보고하였다(Mass and Hoffman, 1977). 한편으로 동일 작물 종내 품종 별로도 내염성 반응의 차이가 크며(Blits and Gallagher, 1990; Fageria, 1985; Moftah and Michel, 1987; Ponnampuruma, 1984, Jian et al, 1991), 야생종이 재배종에 비해 내염성이 강하다는 보고도 있다(Forster et al, 1987; Rosen and Tal, 1981).

토양과 식물에 염류의 성분조사로 염류제거 정도를 측정할 수 있으며, 그외 시설재배지의 광도, 습도 및 온도 등의 환경재배조건에 따른 염류가 식물 생육에 미치는 영향을 조사하여 건전하고 병해를 받지 않는 작물체 생산을 할 수 있는 토양환경을 조성하는 것이 본 연구의 목적이다. 궁극적으로 Cleaning Crop으로 염류 제거하여 토양내의 제염정도, 식물체내의 염류축적정도, 염류가 식물의 생장과 수량에 미치는 영향 등을 구명하여 실제로 시설 재배지에 이러한 염류제거 기술을 실용화하는 것이다.

## 제 2 절 재 료 및 방 법

### 1) 식물 재 료 및 토 양 염 류 조 건

#### a. 옥수수와 sudan grass

옥수수(찰옥 2호)와 sudan grass를 육묘상에서 각각 25일, 30일 동안 성장 시켰다가  $\text{CaCl}_2$  166.67 g/m<sup>2</sup>,  $\text{KNO}_3$  128.2 g/m<sup>2</sup>,  $\text{MgSO}_4$  76.92 g/m<sup>2</sup>,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  23.08 g/m<sup>2</sup>로 염처리된 포트 재배 상자에 2003년 4월 31일에 이식하여 growth chamber에서 성장시켰다. 온도는 주35/야25℃, 광조건은 광도 2,500 lux에서 주 14/야10h, 습도는 70%로 조절하였다. 물은 식물체 이식 전에 충분히 주었다. 관수 조절은 두 처리구로 나누어 Box 재배를 실시하였는데, 처리구 I[(C-A: 옥수수); (S-A: sudan grass)]는 4일에 한번씩 6월 8일까지 물을 주었고, 다른 하나의 처리구 III[(C-B: 옥수수; (S-B: sudan grass))는 4일에 한번씩 4차례 5월 16일까지 물을 주고, 15일간 단수했으며, 31일 광합성 측정 후 3일에 한번씩 3차례 6월 9일까지 물을 주었다.

#### b. 토마토

토마토를 육묘상에서 20일 동안 성장 시켰다가  $\text{P}_2\text{O}_5$  1000 mg/kg, CaO 5 cmol/kg, MgO 2.5 cmol/kg,  $\text{K}_2\text{O}$  cmol/kg, 유기질비료 1kg/m<sup>2</sup>로 처리된 염처리구와 아무 것도 처리되지 않은 무처리구 두 Box에 이식하였다. 이식 12일 후에 각종 실험을 실행하였다.

### C. 메밀

춘천재래와 양절메밀 두 품종을 파종하여 발아 후 10일된 유묘를 이식용 포트에 옮겨 심어 생육이 55일 정도 되었을 때, 염류( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ , KCl)를 각각 0 mM, 5 mM, 10 mM, 25 mM 처리하여 growth chamber에 며칠동안 순화시킨 후 실험을 실행하였다.

## 2) 식물체 및 토양 염류성분 분석

식물체의 염류 성분 분석은 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 구체적인 실험 방법은 식물체의 성분분석을 위하여 건조기에서 수분이 완전히 건조된 시료를 뿌리, 줄기 및 잎으로 나누어 건물중을 측정하고 가루를 낸 다음 회분을 약 1 g 정도로 취해서 도기 그릇에 넣어 630 °C에서 6시간 30분동안 전기로에서 태운다. 냉각한 다음 각 도기 그릇에 4N HCl 1 ml를 넣고 유리막대기로 저어 충분히 반응한 다음 여과하여 3차 증류수를 가하여 100 ml의 환저 플라스크에 정량한 다음 삼각 플라스크에 깔때기를 이용하여 여과시켜 기본시료를 만들었다.

토양의 양이온 성분분석은 각 처리구에서 3반복으로 토양을 채취하였으며, 풍건하여 2 mm체로 통과시킨 토양 5 g에 1N Ammonium acetate 50ml를 가하여 1 시간 동안 shaker로 진탕한 후 여과하여 기본시료를 만들었다. 양이온이 치환된 식물체 및 토양 기본시료에서 일정량을 취해 염류별로 희석하여 원자 흡광기 (Atomic absorption spectrophotometer)를 이용하여 양이온의 함량을 측정하였다.

## 3) 광합성율의 측정

광합성율 측정은 휴대용 광합성 측정장치인 LAC-4 (Analytical Development Company, Ltd. UK)를 이용하여 잎의 광합성 율(A)를 처리조건별로 처리간 3반복으로 실시하였으며 동시에 기공전도도(Gs)와 엽내 CO<sub>2</sub>농도(Ci)도 함께 측정하였다.

## 4) Rutin 함량분석

Sampling한 메밀을 막자 사발에서 분쇄하여 시료를 Methanol로 3회 반복해 추출하였다. 추출물을 감압농축기를 이용하여 농축하고 Methanol로 용해시켜 100ppm 용액을 만들었다. 이 용액을 HPLC(Shimadzu SPD-7AV UV Detector)를 이용하여 rutin 함량을 분석하였다.

### 제 3 절 결과 및 고찰

1) 염류축적 재배 Box에서 관수조절에 의한 sudan grass의 재배에 따른 토양 염류함량의 변화.

표 3-1에서는 염류 축적 Box에서 sudan grass가 관수 조절에 의해 재배하였을 때 토양의 염류함량의 변화를 나타낸 것이다. 수분상태가 좋은 처리구(S-A) 재배 Box의 경우는 sudan grass 재배 50일간 후  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ 가 각각 30.4 %, 31.9 %, 34.5 %, 34.4 %로 감소한 반면에, 수분스트레스를 준 처리구(S-B) 재배 Box의 경우는 40.3 %, 38.7 %, 70.8 %, 38.9 %로 감소하였다. 이는 양호한 수분상태가 유지된 처리구(S-A)에서 생장이 활발한 식물체에 의한 염류 흡수가 높음으로서 토양내의 염류 제거가 효과적으로 나타난 것으로 사료된다.

Table 3-1. Changes in salt accumulation contents of sudan grass according to the regulation of watering in saline soil.

Date		( c mol/kg )			
		Ca	K	Mg	Na
03.4.30	S-A	7.23±1.85	5.49±1.46	1.94±0.28	0.32±0.01
	S-B	7.70±1.52	6.13±1.62	1.37±0.26	0.36±0.01
03.6.20	S-A	2.20±0.23	1.75±0.31	0.67±0.18	0.11±0.01
	S-B	3.10±0.36	2.37±0.21	0.97±0.20	0.14±0.01

S-A; un-water stress condition, S-B; water stress condition

2) 염류축적 재배 Box에서 관수조절에 의한 찰옥2호의 재배에 따른 토양 염류함량의 변화.

표 3-2에서는 염류 축적 Box에서 찰옥수수가 관수 조절에 의해 재배하였을 때 토양의 염류함량의 변화를 나타낸 것이다. 수분상태가 좋은 처리구(C-A) 재배 Box의 경우는 찰옥수수 재배 50일간 후  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ 가 각각 19.7 %, 26.2 %, 22 %, 17 %로 감소한 반면에, 수분 스트레스를 준 처리구(C-B) 재배 Box의 경우는 41.8 %, 42.3 %, 55.7 %, 44 %로 감소하였다. 이는 양호한 수분 상태가 유지된 처리구(C-A)에서 생장이 활발한 식물체에 의한 염류흡수가 높음으로서 토양내의 염류 제거가 효과적으로 나타난 것으로 사료된다.

Table 3-2. Changes in salt accumulation contents of Chalok-2 according to the regulation of watering saline soil.

Date		( c mol/kg )			
		Ca	K	Mg	Na
03.4.30	C-A	7.37±1.58	5.61±1.32	2.00±0.10	0.41±0.01
	C-B	7.13±1.34	5.88±1.41	1.58±0.16	0.25±0.02
03.6.20	C-A	1.42±0.29	1.47±0.21	0.44±0.10	0.07±0.00
	C-B	2.98±0.31	2.49±0.23	0.88±0.15	0.11±0.01

C-A; un-water stress condition, C-B; water stress condition

3) 염류축적 재배 Box에서 관수조절에 의한 sudan grass의 광합성율의 차이.

표 3-3에서는 염류축적 Box에서 관수 조절에 의한 sudan grass의 광합성율, 기공전도도 및 엽내 CO<sub>2</sub> 농도의 차이를 나타낸 것이다. 수분상태가 좋은 처리구(S-A) 재배 Box에서 광합성율과 기공전도도 모두가 수분 스트레스를 준 처리구(S-B) 재배 Box에 비해 높게 나타났는데, 이식 후 30일째 처리구(S-A)에서 처리구(S-B) 비해 광합성율이 1.2배, 이식 후 40일째는 1.5배로 훨씬 높았다. 이는 양호한 수분상태를 유지한 처리구(S-A)에서 활발한 성장을 알 수 있다.

Table 3-3. Changes in leaf photosynthetic rate of sudan grass according to the regulation of watering in saline soil.

Date		A <sup>1</sup>	Gs	Ci
		( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	(ppm)
03.5.31	S-A	13.16±2.65	0.11±0.02	133.4±22.6
	S-B	10.78±1.23	0.10±0.02	147.9±23.9
03.6.10	S-A	16.62±2.27	0.13±0.03	108.4±18.7
	S-B	11.18±1.21	0.11±0.03	108.5±17.7

<sup>1</sup>A; Leaf photosynthetic rate, Gs; Stomatal conductance  
Ci; Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

S-A; un-water stress condition, S-B; water stress condition

4) 염류축적 재배 Box에서 관수조절에 의한 찰옥2호의 광합성율의 차이.

표 3-4에서는 염류축적 Box에서 관수 조절에 의한 찰옥수수의 광합성율, 기공 전도도 및 엽내 CO<sub>2</sub> 농도의 차이를 나타낸 것이다. 수분상태가 좋은 처리구 (C-A) 재배 Box에서 광합성율과 기공전도도 모두가 수분 스트레스를 준 처리구(C-B) 재배 Box에 비해 높게 나타났는데, 이식 후 30일째 처리구(C-A)에서 처리구(C-B)에 비해 광합성율이 1.5배, 이식 후 40일째는 1.3배로 훨씬 높았다. 이는 양호한 수분상태를 유지한 처리구(C-A)에서 활발한 성장을 알 수 있다.

**Table 3-4. Changes in leaf photosynthetic rate of Chalok-2 according to the regulation of watering in saline soil.**

Date		A <sup>1</sup>	Gs	Ci
		( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	(ppm)
03.5.31	C-A	13.31±1.22	0.11±0.02	129.0±23.5
	C-B	9.81±1.69	0.08±0.01	125.2±22.8
03.6.10	C-A	17.07±2.40	0.12±0.03	89.73±12.5
	C-B	13.02±1.33	0.10±0.02	119.5±16.1

<sup>1</sup>A; Leaf photosynthetic rate, Gs; Stomatal conductance

Ci; Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

C-A; un-water stress condition, C-B; water stress condition

5) 염류축적 재배 Box에서 관수조절에 의한 sudan grass의 식물체의 염류 함량의 차이.

표 3-5에서는 염류축적 Box에서 관수 조절에 의해 재배된 sudan grass의 줄기와 잎의 염류함량의 차이를 나타낸 것이다. 수분상태가 좋은 처리구(S-A) Box 재배의 식물체의 모든 염류 함량이 수분 스트레스를 준 처리구(S-B) Box재배의 식물체에 비해 줄기와 잎 모두에서 높게 나타났다. 이는 생장이 활발한 식물체에 의한 염류흡수가 높은 것으로 사료된다.

Table 3-5. Changes in salt accumulation of sudan grass according to the regulation of watering in saline soil.

Date		% to the dry weight			
		Ca	K	Mg	Na
S-A	Stem	1.89±0.23	1.74±0.23	0.64±0.02	0.17±0.02
	Leaf	1.87±0.31	0.94±0.20	0.63±0.08	0.11±0.03
S-B	Stem	1.73±0.26	1.50±0.19	0.61±0.07	0.22±0.03
	Leaf	1.43±0.39	0.68±0.13	0.49±0.05	0.11±0.02

S-A; non-water stress condition, S-B; water stress condition

6) 염류축적 재배 Box에서 관수조절에 의한 찰옥수수의 식물체의 염류함량의 차이.

표 3-6에서는 염류축적 Box에서 관수 조절에 의해 재배된 찰옥수수의 줄기와 잎의 염류함량의 차이를 나타낸 것이다. 수분상태가 좋은 처리구(C-A) Box의 식물체의 모든 염류 함량이 수분 스트레스를 준 처리(C-B) Box의 식물체에 비해 줄기와 잎 모두에서 높게 나타났다. 이는 생장이 활발한 식물체에 의한 염류흡수가 높은 것으로 사료된다.

Table 3-6. Changes in salt accumulation of Chalok-2 according to the regulation of watering in saline soil.

Date		% to the dry weight			
		Ca	K	Mg	Na
C-A	Stem	0.94±0.13	2.65±0.35	0.66±0.09	0.24±0.03
	Leaf	2.12±0.21	2.35±0.29	1.19±0.34	0.25±0.06
C-B	Stem	0.69±0.19	2.28±0.08	0.57±0.10	0.18±0.03
	Leaf	1.23±0.26	1.39±0.18	0.93±0.07	0.22±0.04

C-A; un-water stress condition, C-B; water stress condition

7) 염류축적 재배 Box에서 토마토의 성장분석과 광합성 차이

표 3-7에서는 토마토를 온실내의 염류집적 Box재배시 성장분석을 나타낸 것이다. 성장분석은 재배상자에 이식 후 12일 동안 상대성장율(RGR), 순동화율(NAR)과 엽면적비율(LAR)을 조사하였다. 염류를 처리하지 않은 무처리구와 염류 처리구사이에 큰 차이를 보였는데, 염류처리구가 무처리구보다 상대성장율은 22 %, 순동화율은 12 %, 엽면적비율 11 % 감소를 나타냈다. 식물은 염해에 의해 줄기나 뿌리의 신장감소, 건물중의 감소 등 많은 생리적 장애 현상을 나타낸다고 보고하였다(Evers et al, 1997; Shalhevet et al, 1995).

Table 3-7. 식물환경조절실에서 토마토 염류집적 Box 재배시 성장분석의 차이

Soil	EC	RGR <sup>1</sup>	NAR	LAR
condition	(ms/cm)	(g g <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> )	(g m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )	(m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
Non-saline	2.44	0.206	56.5	36.5
Saline	12.67(519)*	0.161(78)	49.5(88)	32.6(89)

<sup>1</sup>RGR: relative growth rate; NAR: net assimilation rate

LAR: leaf area ratio

\*; figure in the parentheses are percentage ratio to the control

Table 3-8. 토마토의 온실내의 염류집적 포트재배시 광합성율의 차이

Soil	EC	A <sup>1</sup>	Gs	Ci
condition	(ms/cm)	( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	(ppm)
Non-saline	2.44	14.8±2.8	0.88±0.56	261.3±24.6
Saline	12.67(519)*	5.6±4.0(38)	0.44±0.35(50)	256.7±30.9(98)

<sup>1</sup>A: Leaf photosynthetic rate; Gs: Stomatal conductance

Ci: Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

\*: Figure in the parentheses are percentage ratio to the control

표 3-8에서는 염류 집적된 포트에서 성장한 토마토의 광합성율, 기공전도도와 엽내 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하였다. 광합성율과 기공전도도는 염류를 처리하지 않은 무처리구와 염류 처리구와는 큰 차이를 보였는데, 염류 처리된 상자포트에서는 광합성율이 무처리구에 비해 68 %의 감소를 보였으며, 또한 기공전도도도 50 %의 큰 감소를 보였다. 높은 염류에서 광합성의 감소는 기공전도도의 감소의 원인이라고 보고하였으며(Xu et al, 1994), 또한 담배의 광합성은 염스트레스 하에서 염농도가 높아짐에 따라 크게 감소한다고 보고하였다(Lee et al, 1998).

Table 3-9. Changes in photosynthesis rate of Yangjeul memil and Chunchonjaerae memil treated with different salinity.

Variety	salt treatment	A <sup>1</sup>	Gs	Ci
		( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	(ppm)
Yangjeul	0 mM	5.64±2.4(100)*	0.11±0.1	277.6±4.9
memil	5 mM	5.79±0.5(103)	0.10±0.0	257.6±8.8
	10 mM	1.80±0.4(34)	0.03±0.0	269.3±14.1
	25 mM	1.54±0.1(27)	1.03±0.0	264.1±12.7
Chuchon-	0 mM	5.40±0.8(100)	0.14±0.0	288.6±5.2
jaerae	5 mM	6.45±0.8(119)	0.09±0.0	230.7±19.1
memil	10 mM	1.54±0.1(29)	0.03±0.0	264.1±12.7
	25 mM	0.47±0.3(9)	0.03±0.0	331.4±20.9

<sup>1</sup>A; Leaf photosynthetic rate, Gs; Stomatal conductance

Ci; Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

\*: Figure in the parentheses are percentage ratio to the control

Table 3-10. Changes in rutin content of two buckwheat varieties treated with different salinity.

Variety	salt treatment	Rutin content ( $\mu\text{g}/100\mu\text{g Meoh-Ex}$ )	
		Leaf	Stem
Yangjeul	0 mM	17.21 $\pm$ 0.15(100)*	9.05 $\pm$ 0.23(100)
memil	5 mM	16.23 $\pm$ 0.11(94)	8.12 $\pm$ 0.08(90)
	10 mM	14.27 $\pm$ 0.35(83)	5.42 $\pm$ 0.22(60)
	25 mM	9.34 $\pm$ 0.21(54)	3.39 $\pm$ 0.07(34)
Chuchon	0 mM	12.85 $\pm$ 0.23(100)	7.83 $\pm$ 0.14(100)
jaerae	5 mM	16.57 $\pm$ 0.25(129)	7.58 $\pm$ 0.38(97)
	10 mM	17.96 $\pm$ 0.27(140)	6.54 $\pm$ 0.09(84)
	25 mM	8.65 $\pm$ 0.26(67)	5.24 $\pm$ 0.03(70)

\*: Figure in the parentheses are percentage ratio to the control

## 8) 염류축적 재배 Box에서 메밀의 광합성과 rutin 함량의 차이

춘천재래와 양절메밀 모두에서 염류처리 농도가 높을수록 광합성과 기공전도도 현저하게 감소하였다. 그러나 두 품종 모두 염처리 5 mM에서 무처리보다 약간 높게 나타났으나, 25 mM에서 현저하게 감소하여 각각 무처리에 비하여 27 %, 9 %로 감소하여 춘천재래 메밀에서 거의 광합성을 하지 못하였다. 염류에서 광합성의 감소는 기공전도도의 감소의 원인이라고 보고(Xu et al, 1994)와 또한 담배의 광합성은 염스트레스하에서 염농도가 높아짐에 따라 크게 감소하였다는 보고(Lee et al, 1998)와 일치한 결과를 나타냈다.

염처리에 의한 양절메밀의 잎과 줄기에 함유한 rutin함량은 전반적으로 무처리구보다 염처리구에서 낮았으며, 또한 염처리 농도가 높을수록 rutin함량이 감소하였는데, 특히 양절 메밀의 잎은 10 mM( $14.27 \pm 0.4 \mu\text{g}/100\mu\text{g Meoh-Ex}$ ) 염처리구보다 25 mM( $9.43 \pm 0.2 \mu\text{g}/100\mu\text{g Meoh-Ex}$ ) 염처리구에서 크게 감소하였다. 춘천재래 메밀의 잎의 경우는 5 mM, 10mM 처리구에서 무처리에 비해 각각 1.3배, 1.4배로 높게 나타났으며, 10 mM( $17.96 \pm 0.3 \mu\text{g}/100\mu\text{g Meoh-Ex}$ ) 염처리구보다 25 mM( $8.65 \pm 0.3 \mu\text{g}/100\mu\text{g Meoh-Ex}$ ) 염처리구에서 크게 감소하였지만, 줄기의 경우는 10 mM에서 감소가 적었다.

## 제 4 절 결 과 요 약

1) 염류 축적 포트에서 sudan grass가 수분조절에 의해 재배하였을 때 토양의 염류함량의 변화를 보면, 수분상태가 좋은 첫 번째 포트의 경우는 sudan grass 재배 50일간 후  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ 가 각각 30.4 %, 31.9 %, 34.5 %, 34.4 %로 감소한 반면에, 수분상태가 못한 두 번째 포트의 경우는 40.3 %, 38.7 %, 70.8 %, 38.9 %로 감소하였다.

2) 염류 축적 포트에서 찰옥수수가 수분조절에 의해 재배하였을 때 토양의 염류함량의 변화를 나타낸 것이다. 수분상태가 좋은 첫 번째 포트의 경우는 찰옥수수 재배 50일간 후  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ 가 각각 19.7 %, 26.2 %, 22 %, 17 %로 감소한 반면에, 수분상태가 못한 두 번째 포트의 경우는 41.8 %, 42.3 %, 55.7 %, 44 %로 감소하였다.

3) 염류축적 포트에서 수분조절에 의한 sudan grass와 찰옥수수의 광합성율, 기공전도도 및 엽내  $CO_2$  농도의 차이를 나타낸 것이다. 수분상태가 좋은 첫 번째 포트에서 광합성율과 기공전도도 모두가 수분 상태가 못한 두 번째 포트에 비해 높게 나타났다.

4) 염류축적 포트에서 수분 조절에 의해 재배된 sudan grass와 찰옥수수의 줄기와 잎의 염류함량의 차이를 나타낸 것이다. 수분상태가 좋은 첫 번째의 포트의 식물체의 모든 염류 함량이 수분상태가 못한 두 번째의 포트의 식물체에 비해 줄기와 잎 모두에서 높게 나타났다.

5) 염류 처리된 염류 집적포트에서 토마토의 생장은 염류를 처리하지 않은 무처리구와 염류 집적 상자 포트와는 큰 차이를 보였다. 염류처리된 상자 포트에서는 상대생장율이 22 %의 감소를 보였으며, 순동화율과 엽면적 비율도 각각

12 %, 11 % 감소를 보였다

6) 염류 처리된 염류 집적포트에서 생장한 토마토의 광합성율과 기공전도도는 염류를 처리하지 않은 무처리구와 염류 집적포트구와는 큰 차이를 보였다. 염류 처리된 상자포트에서는 광합성율이 62 %의 감소를 보였으며 기공 전도도도 50 %의 큰 감소를 보였다.

7) 염류 처리에 의한 춘천재래와 양절메밀의 광합성율과 rutin 함량의 차이를 보면, 광합성율은 두 메밀 보다 염처리 농도가 높을수록 광합성율의 저하를 나타냈는데, 염처리 5 mM에서는 오히려 무처리보다 약간 높게 나타났다. rutin 함량도 염처리 농도가 높을수록 낮게 나타났지만, 춘천재래 메밀의 잎의 rutin 함량은 5 mM, 10 mM에서 각각 무처리에 비해 1.3배, 1.4배로 높게 나타났다.

## 제 4 장. 염류 축적 시설 재배지에서의 Cleaning

### Crop에 의한 염류제거 기술개발

#### 제 1 절 서론

최근 시설재배지를 이용한 채소류의 재배면적은 1980년 11,375ha으로부터 1998년에는 94,968ha으로 급격한 증가 추세를 보이고 있다(MAF, Kore. 1980-1999). 시설재배지 채소재배는 폐쇄된 제한적인 면적에서 연중 연작하는 관계로 각종 토양성분의 균형이 깨져 식물생육에 장애가 나타난다. 대부분의 시설재배 작물들은 연중 집약적 밀식재배로 연작하는 경우가 많고 또한 다량의 비료가 투입되고 있으며 또한 시설에 의한 강우차단과 고온에 의한 표면 증발 및 작물의 왕성한 증산작용은 토양 중의 모관수를 토양 하층에서 상층으로 이동시키므로 토양 용액중에 용해되어 있는 염류들도 함께 이동되어 표층토의 염류 과다 집적을 유발시킨다.

시설채소재배는 농가소득을 증대하기 위하여 신선채소의 연중 공급을 위한 새로운 재배기술개발과 시설현대화에 주력하면서 계속 재배 면적이 증가하는 추세에 있다. 또한 화훼류는 가격이 안정되지 않고 등락의 폭이 큰데 판매가격은 품질에 많은 영향을 받지 않는다. 따라서 대부분의 화훼류 재배농가에서는 품질 향상보다는 수량을 증대시키기 위하여 관행적으로 많은 양의 화학비료, 가축분 및 토양 개량제를 사용하고 있는데, 이러한 결과로 대부분의 시설화훼 재배지 토양도 무기성분이 과다하게 축적되고 있다(Hwang et al, 1998).

염류의 과잉집적은 비료의 과잉 사용, 작물에 의해 흡수되지 못한 특정 염의 농도 증가, 강우와 같은 토양 중 염류 유실인자가 부족한 시설재배지 재배조건 등으로 인해 유발된다. 토양내 염류집적은 경작 연수가 길어질수록 심하며, 또한 토층별, 계절별 및 토양종류별로 차이를 보인다는 보고하였다(Ryu et al, 1995; 하, 등 1997; Jung et al, 1994).

식물의 영양원으로 토양에 공급되는 비료성분은 작물에 흡수 이용되는 한편

작물에 흡수되지 못하고 남은 성분들은 빗물이나 관개수에 의해서 유실되거나 또는 점토 광물에 흡착, 고정되어 토양에 축적된다. 토양에서의 양이온 중에  $K^+$ 와  $Na^+$ 는 용해도가 크기 때문에 토양에서 이동성이 큰 반면에  $Ca^{++}$ 와  $Mg^{++}$  전이원소 같은 양이온들은 이동성이 적었다고 보고하였다(Quin and Forstith, 1978). 시설재배는 폐쇄된 상태의 온실 내에서 자연강우가 차단되고 연중 집약적으로 연작하여 재배할 뿐만 아니라, 다수확 목적으로 인한 다량의 시비로 인해 염류집적을 일으킨다(Ruy et al, 1995). 염류가 집적된 토양은 작물의 발아율과 입모율을 저하시킬 뿐 아니라 성장량 감소와 수량감소를 초래하고 있다. 또한 무기양분이 과다하게 축적되면 토양과 주변환경을 오염시키며, 특정성분이 과다하게 집적될 경우 양분공급이 불균형을 초래하여 작물생육 부진의 원인이 된다.

간척지에서는 토양개량을 위해 염에 강한 작물인 사탕수수나 목화 등을 심는다. 그 밖에도 벼, 밭벼, 담배, 루핀, 철쭉류, 소나무류 등이 산성토양에 강한 식물로 알려졌다. 시설 재배지에서는 염류제거를 위한 식물이 제한적이며, 휴한할 경우 시설비나 생산비 등 경제적인 면에서 노지보다 불리하다. 따라서 이용가치가 있는 식물을 이용하여 염류제거효과를 얻을 수 있는 연구가 더욱 진행되어야 할 것이라고 사료된다. 사료작물 중에서 북방형 목초인 Tall Wheatgrass와 남방형 목초인 Bermudagrass가 보리와 비슷한 높은 내염성을 가지고 있다고 하였고(Im et al., 1981, 1984), 또한 사료작물의 발아한계 염농도는 0.4 ~ 0.8 %범위이며 내염성이 가장 강한 품종은 Perennial Ryegrass와 Tall Fescue라고 하였으며(김 등, 1984), Italian Ryegrass에 관한 내염성 연구보고도 있다. Sudan grass는 가축의 시호성도 높으며, 환경에 대한 적응력도 강한 작물로 널리 알려져 있지만, 내염성 연구에 관한 보고가 거의 없는 실정이다.

토양의 염류제거는 다양한 방법으로도 시도되고 있는데 대표적으로 물을 이용한 제염방법(조, 등 1998), 개량제 시용에 의한 토양의 물리 화학성 개선(황, 등 1993), 염류흡착제의 개발(최, 1996), 미분해성 유기물에 의한 방법, 피복제거, 환토.심토의 반전, 객토, 합리적인 시비 등의 여러 방법이 시도되고 있지만 실용화까지 더 많은 연구가 필요하다. 제염작물에는 옥수수가 주로 이용되며 이는 성

분흡수에 의한 제염효과는 옥수수가 가장 큰 것으로 알려지고 있다. 그러나 아직 이러한 친환경적인 제염식물에 대한 연구가 많이 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구는 시설 재배지의 염류집적에 대한 cleaning crop방법에 의한 토양 제염기술을 개발하기 위하여 중북부(춘천)과 중남부(영주)의 시설재배지 염류축적 토양에서 Cleaning crop을 재배하여 토양 염류제거정도, 염류제거 후 후작물의 생장분석 등을 실시하였다. 본 연구의 궁극적인 목적은 매년 연작과 염류장해로 인한 작물의 수량감소, 병해 및 토양의 퇴화를 경감시켜 친환경농업의 확립과 농가소득증대에 있다.

## 제 2 절. 옥수수의 재식거리에 따른 제염효과 및 후작물 배추의 성장분석

### 1. 재료 및 방법

#### 1) 식물재료 및 염류토양조건

본 실험은 시설 재배지내의 토양(미사질 식양토)에서 공시 품종인 옥수수(찰옥 2호)을 재식거리 별(25 X 25 cm, 40 X 40 cm, 55 X 55 cm)로 재배하였다. 옥수수는 15일된 이식묘를 2000년 8월 3일 포장에 이식하였다. 토양내의 염류 축적정도는  $K^+$ 는  $1.08 \pm 0.18$  cmol/kg,  $Ca^{++}$ 는  $3.02 \pm 0.67$  cmol/kg,  $Mg^{++}$ 는  $0.42 \pm 0.10$  cmol/kg 그리고  $Na^+$ 는  $0.22 \pm 0.06$  cmol/kg로 염류가 축적되지 않아서  $CaCl_2$  44 g/m<sup>2</sup>,  $KNO_3$  20.9 g/m<sup>2</sup>,  $KH_2PO_4$  3.75 g/m<sup>2</sup>,  $MgCl_2$  13 g/m<sup>2</sup>를 처리하여 염류 축적 토양을 만들었다.

#### 2) 식물체 및 토양 염류 성분 분석

식물체의 염류 성분 분석은 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 구체적인 실험 방법은 식물체의 성분분석을 위하여 건조기에서 수분이 완전히 건조된 시료를 뿌리, 줄기 및 잎으로 나누어 건물중을 측정하고 가루를 낸 다음 회분을 약 1 g 정도로 취해서 도기 그릇에 넣어 630 °C에서 6시간 30분동안 전기로에서 태운다. 냉각한 다음 각 도기 그릇에 4N HCl 1 ml를 넣고 유리막대기로 저어 충분히 반응한 다음 여과하여 3차 증류수를 가하여 100 ml의 환저 플라스크에 정량한 다음 삼각 플라스크에 깔때기를 이용하여 여과시켜 기본시료를 만들었다. 토양의 양이온 성분분석은 각 처리구에서 3 반복으로 토양을 채취하였으며, 풍건하여 2 mm체로 통과시킨 토양 5 g에 1 N Ammonium acetate 50 ml를 가하여 1시간 동안 shaker로 진탕한 후 여과하여 기본시료를 만들었다. 양이온이 치환된 식물체 및 토양 기본시료에서 일정량을 취해 염류별로 희석하여 원자 흡광기(Atomic absorption spectrophotometer)를 이용하여 양이온의 함량

을 측정하였다.

### 3) 광합성율의 측정

광합성율 측정은 휴대용 광합성 측정장치인 LAC-4 (Analytical Development Company, Ltd. UK)를 이용하여 잎의 광합성율(A)를 saline, non-saline 처리구 재식거리별 각각 3반복으로 실시하였으며 동시에 기공전도도(Gs)와 엽내 CO<sub>2</sub>농도(Ci)도 함께 측정하였다.

### 4) 식물체 생체중, 건물중 측정

후작물 배추를 각 염처리 재식거리별, 무처리에서 3반복으로 채취하여, 뿌리와 잎, 줄기로 구분한 후 생체중을 측정하고, 60℃에서 5일간 건조시켜 건물중을 측정하였다.

## 2. 결과 및 고찰

### 1) 재식거리에 따른 토양의 염류축적 양의 변화

표 4-1는 재식거리에 따른 찰옥2호 재배 토양의 염류축적의 양의 변화를 보기 위하여 찰옥2호 이식 후 20일이 지난 후에 토양내의 염류 농도는 재식거리별로 8월 23일에 채취한 토양에서 분석한 결과 전반적으로 25 X 25 cm의 재식거리 구은 다른 재식거리구 보다 다소 높았다. 또한 시일이 지나면서 전반적으로 Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>의 염류 농도는 떨어 졌으며 찰옥2호 이식 후 50일이 지난 후의 토양내의 염류 성분은 30 - 50 %정도 감소한 것을 알 수 있었다. 이는 찰옥2호의 생장에 따른 염류의 흡수와 염류의 용탈로서 토양내의 농도가 저하되었다고 사료된다.

Table 4-1. Changes in salt accumulation contents according to the different planting distance of Chalok-2 in saline soil of plastic film house cultivation.

Date*	Soil condition	Planting distance(cm)	(c mol/kg)			
			Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>
00.8.23	Non-Saline	40×40	3.02±0.67	1.08±0.18	0.42±0.10	0.22±0.06
00.9.23		40×40	2.92±0.45	1.11±0.10	0.36±0.21	0.18±0.08
00.8.23	Saline	25×25	4.46±0.41	3.01±0.41	0.71±0.08	0.41±0.01
		40×40	3.74±0.07	2.66±0.30	0.63±0.02	0.36±0.07
		55×55	3.15±0.01	1.97±0.52	0.50±0.05	0.20±0.03
00.9.02	Saline	25×25	3.67±0.36	2.41±0.63	0.54±0.06	0.34±0.06
		40×40	2.66±0.88	2.11±0.37	0.40±0.20	0.23±0.16
		55×55	2.93±0.26	1.71±0.36	0.56±0.05	0.31±0.02
00.9.23	Saline	25×25	2.48±0.42	2.18±0.30	0.49±0.05	0.26±0.04
		40×40	2.61±0.83	1.50±0.50	0.48±0.16	0.25±0.12
		55×55	2.26±1.02	1.16±0.37	0.41±0.15	0.22±0.07

\*; measured date of the saline soil

## 2) 재식거리에 따른 광합성율의 차이

표 4-2에서는 염류집적 시설재배지에서 재식거리에 따른 찰옥2호의 광합성율의 차이를 나타낸 것으로 찰옥2호 파종 54일 후의 밀식 (25 X 25 cm)보다는 소식 (40 X 40, 55 X 55 cm)재식거리구의 광합성율이 높게 나타났다. 이는 찰옥2호의 재식거리가 넓어서 수광율이 높기 때문이라고 사료된다. 광합성율과 기공전도도는 정의 상관관계를 나타내고 있다.

**Table 4-2. Changes in leaf photosynthetic rate of Chalok-2 according to the different planting distance in saline soil of plastic film house cultivation.**

Date*	Planting distance(cm)	A	Gs	Ci
		( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	(ppm)
00.9.06	25×25	27.53±1.15	0.98±0.54	192.7±24.2
	40×40	29.27±1.43	0.76±0.36	165.3±21.4
	55×55	27.47±4.00	0.76±0.39	176.6±4.4
00.9.26	25×25	30.63±3.59	0.51±0.04	104.3±12.2
	40×40	30.76±0.81	0.61±0.14	148.7±12.2
	55×55	35.19±1.66	1.55±0.86	214.0±58.0

A: Leaf photosynthetic rate; Gs: Stomatal conductance

Ci: Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

\*; measured date of leaf photosynthetic rate

### 3) 재식거리에 식물체내의 염류함량의 차이

표 4-3에서는 찰옥2호의 재식거리와 시기에 따른 뿌리의 염류 흡수와 축적의 차이를 나타낸 것으로 찰옥2호의 뿌리의 염류 축적량은 non-saline 처리구에 비하여 40 - 60 %이상의 염류 축적을 나타내었다. 특히 재식거리에 따른 차이는 나타나지 않았으나, 8월 23일의 뿌리 염류 함량보다도 9월 2일의 함량이 높은 것을 알 수 있었다. 전반적으로 시일이 지나면서 뿌리의 염류 축적량은 늘어 나 는 경향을 나타내었다.

**Table 4-3. Changes in salt accumulation of root of Chalok-2 according to the different planting distance and growth stage saline soil of the plastic film house cultivation.**

Date	Soli condition	Planting distance(cm)	% to the dry weight			
			Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>
2000.8.23*	Non-saline	40×40	0.23±0.13	1.78±0.55	0.15±0.04	0.03±0.02
2000.8.23	Saline	25×25	0.20±0.07	2.47±0.33	0.37±0.08	0.30±0.03
		40×40	0.13±0.05	2.61±0.71	0.19±0.06	0.25±0.05
		55×55	0.38±0.10	2.77±0.37	0.36±0.05	0.21±0.01
2000.9.02	Saline	25×25	0.40±0.36	2.84±0.65	0.41±0.16	0.41±0.06
		40×40	0.37±0.88	4.12±0.23	0.46±0.14	0.46±0.11
		55×55	0.23±0.26	2.77±0.51	0.42±0.08	0.42±0.08
2000.9.23	Saline	25×25	0.31±0.11	1.95±0.26	0.30±0.11	0.30±0.07
		40×40	0.49±0.10	1.76±0.55	0.44±0.09	0.44±0.09
		55×55	0.27±0.06	2.09±0.70	0.27±0.01	0.27±0.01

\*; measured date of saline soil

Table 4-4. Changes in salt accumulation of stem of Chalok-2 according to the different planting distance and growth stage in saline soil of the plastic film house cultivation.

Date	Soil condition	Planting distance(cm)	% to the dry weight			
			Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>
00.8.23	Non-saline	40×40	0.12±0.05	1.38±0.39	0.16±0.01	0.02±0.01
00.8.23	Saline	25×25	0.09±0.00	7.20±0.59	0.12±0.08	0.12±0.01
		40×40	0.08±0.03	7.48±1.35	0.22±0.02	0.12±0.02
		55×55	0.10±0.02	7.73±1.62	0.23±0.05	0.05±0.01
00.9.02	Saline	25×25	0.11±0.02	9.33±1.76	0.18±0.06	0.05±0.01
		40×40	0.12±0.01	6.68±1.27	0.20±0.20	0.04±0.02
		55×55	0.1±0.01	5.70±0.97	0.25±0.05	0.08±0.03
00.9.23	Saline	25×25	0.07±0.00	2.80±0.10	0.13±0.05	0.07±0.01
		40×40	0.08±0.01	2.60±0.37	0.13±0.16	0.08±0.03
		55×55	0.06±0.00	3.12±0.44	0.14±0.15	0.08±0.01

\*; measured date of saline soil

표 4-4에서는 찰옥2호의 재식거리와 시기에 따른 줄기의 염류 흡수와 축적의 차이를 나타낸 것으로 줄기의 염류 축적량은 non-saline 처리구에 비하여 Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup> 및 K<sup>+</sup>의 염류농도는 시일이 경과함에 따라 높아짐을 알 수 있다. 찰옥2호의 줄기 내에 축적량이 9월2일 측정된 함량은 8월 23일에 비하여 20 - 60 %이상의 염류축적을 나타내었으나 9월 23일에는 오히려 낮아지는 경향을 나타내었는데 이는 식물의 성장하면서 생체중 및 건물중의 증가로 염류의 농도가 그만큼 식물체 내에서 희석되지 않았는가 사료된다.

Table 4-5. Changes in salt accumulation of leaf of Chalok-2 according to the different planting distance and growth stage in saline soil of the plastic film house cultivation.

Date	Soli condition	Planting distance(cm)	% to the dry weight			
			Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>
00.8.23	Non-saline	40×40	0.21±0.10	1.64±0.42	0.16±0.01	0.03±0.00
00.8.23	Saline	25×25	0.14±0.03	2.52±0.24	0.26±0.05	0.12±0.01
		40×40	0.13±0.01	2.28±0.29	0.21±0.02	0.11±0.01
		55×55	0.14±0.03	3.35±0.41	0.12±0.01	0.07±0.02
00.9.02	Saline	25×25	0.24±0.00	2.45±0.46	0.22±0.02	0.06±0.01
		40×40	0.26±0.04	2.54±0.40	0.23±0.03	0.05±0.01
		55×55	0.19±0.06	2.92±0.29	0.21±0.04	0.09±0.02
00.9.23	Saline	25×25	0.18±0.04	2.02±0.22	0.19±0.09	0.07±0.02
		40×40	0.20±0.04	1.51±0.25	0.15±0.02	0.07±0.01
		55×55	0.16±0.03	1.33±0.37	0.16±0.03	0.06±0.01

\*; measured date of saline soil

표 4-5는 찰옥2호의 재식거리와 시기에 따른 잎의 염류 흡수와 축적의 차이를 나타낸 것으로 찰옥2호의 잎의 염류 축적량은 이식 후 20일째에 유식물의 잎에서 non-saline 처리구에 비하여 Mg<sup>++</sup>과 Na<sup>+</sup>는 9월2일 측정된 함량은 8월 23일에 비하여 40 - 60 %이상의 염류축적을 나타내었으나 Ca<sup>++</sup>의 차는 없었다. 이는 유식물을 지나 식물이 성장하면서 염류는 잎에 축적하는 것보다도 우선 뿌리와 줄기에서 축적한다고 사료된다. 만약 고농도의 염류가 잎에 축적된다면 식물체는 생리학적으로 생존하기가 어려워진다.

#### 4) 후작물 배추의 광합성율의 차이

표 4-6에서는 염류집적 시설재배지에서 재식거리에 따른 cleaning crop 찰옥2호의 재배 후 배추의 광합성율 차이를 나타낸 것인데 구간의 광합성율의 차이는 크지는 않았는데 이는 전반적으로 cleaning crop인 찰옥2호를 재배한 후 토양의 염류가 제거되어 염류의 영향을 받지 않았기 때문이라고 사료된다.

Table 4-6. 후작물 배추의 광합성율 차이

	Planting distance(cm)	A <sup>1</sup> ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Gs ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Ci (ppm)
Non-saline	40×40	23.34±2.21	0.92±0.11	261.2±15.2
Saline	25×25	21.58±2.21	0.90±0.10	262.0±5.6
	40×40	23.20±0.87	1.03±0.25	258.9±11.9
	55×55	21.56±2.07	1.06±0.29	272.4±9.3

<sup>1</sup>A: Leaf photosynthetic rate; Gs: Stomatal conductance

Ci: Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

5) 후작물 배추의 생체중, 건물중 및 염류축적량의 차이

표 4-7에서는 염류 집적 시설재배지에서 찰옥2호재배 후 후작물인 배추의 생체중과 건물중의 차이를 나타낸 것인데, 재배구간에서 25 X 25 cm와 40 X 40 cm 재식거리구는 non-saline 처리구와 55 X 55 cm 재식거리구보다 생체중과 건물중이 높게 나타났다. 약간의 염류 축적은 오히려 배추의 생장을 높이는 결과를 얻었다. 뿌리의 생체중량도 25 X 25 cm와 40 X 40 cm 재식거리구는 non-saline 처리구와 55 X 55 cm 재식거리구보다 생체중과 건물중이 높게 나타났다.

Table. 4-7 후작물 배추의 생체중 건물중 차이.

Soil condition	Planting distance(cm)		Fresh weight(g)	Dry weight(g)
Non-saline	40×40	Root	17.6±1.6	3.04±0.43
		Shoot	810±131	71.9±10.6
Saline	25×25	Root	19.4±3.2	3.18±0.53
		Shoot	1363±234	102±20
	40×40	Root	22.3±2.0	3.80±0.80
		Shoot	1416±364	100±20
	55×55	Root	15.6±2.5	2.63±0.69
		Shoot	999±228	76±16

Table. 4-8. 후작물 배추의 염류함량 차이.

Planting		% to the dry weight				
distance(cm)			Ca	Mg	K	Na
Non-saline	40×40	Root	0.12±0.03	0.17±0.01	0.012±0.0	0.18±0.03
		Shoot	0.57±0.30	0.19±0.01	0.012±0.0	0.20±0.02
Saline	25×25	Root	0.14±0.01	0.17±0.01	0.012±0.0	0.23±0.01
		Shoot	0.65±0.26	0.19±0.00	0.012±0.0	0.21±0.01
	40×40	Root	0.13±0.01	0.18±0.02	0.011±0.0	0.25±0.04
		Shoot	0.79±0.02	0.18±0.00	0.012±0.0	0.22±0.02
	55×55	Root	0.13±0.01	0.18±0.02	0.012±0.0	0.21±0.04
		Shoot	0.73±0.09	0.18±0.01	0.012±0.0	0.21±0.03

표 4-8에서는 염류 집적 시설재배지에서 찰옥2호 재배 후 후작물인 배추의 양이온 염류함량의 차이를 나타낸 것으로 찰옥2호의 재배후의 배추재배에서 배추에 염류의 축적의 차이는 나타나지 않았지만, 토양의 잔류한  $Ca^{++}$  함량의 영향으로 인해 식물체내의  $Ca^{++}$ 는 염처리구가 non-saline 처리구 보다 약간 높게 나타났다.

### 3. 결 과 요 약

1) 재식거리에 따른 찰옥2호 재배 토양의 염류축적의 양은 찰옥2호 이식 후 20일이 지난 후에 전반적으로 25 X 25 cm의 재식거리구는 다른 재식거리구 보다 다소 높았다. 또한 시일이 지나면서  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ 의 염류 농도는 떨어졌으며 찰옥2호 이식 후 50일이 지난 후의 토양내의 염류 성분은 30 - 50 % 정도 감소한 것을 알 수 있었다.

2) 찰옥2호의 뿌리의 염류 축적량은 non-saline 처리구에 비하여 40 - 60 %이상의 염류 축적을 나타내었다. 특히 재식거리에 따른 차이는 나타나지 않았으나, 찰옥2호 이식 후 20일째의 뿌리 염류 함량보다도 이식 후 31일째의 함량이 높은 것을 알 수 있었다. 전반적으로 시일이 지나면서 뿌리의 염류 축적량은 늘어나는 경향을 나타내었다.

3) 찰옥2호의 재식거리와 시기에 따른 줄기의 염류 축적량은 non-saline 처리구에 비하여  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$  및  $K^+$ 의 염류농도는 시일이 경과함에 따라 찰옥2호의 줄기 내에 축적량이 이식 후 31일째의 측정된 함량은 이식 후 20일째에 비하여 20 - 60 %이상의 염류축적을 나타내었으나 이식 후 51일째에는 오히려 낮아지는 경향을 나타내었다.

4) 찰옥2호의 재식거리와 시기에 따른 잎의 염류 축적량은 이식 후 20일째에 유식물의 잎에서 non-saline 처리구에 비하여  $Mg^{++}$ 과  $Na^+$ 는 이식 후 31일째 측정된 함량은 이식 후 20일째에 비하여 40 - 60 %이상의 염류축적을 나타내었으나  $Ca^{++}$ 의 차는 없었다.

5) 염류집적 시설재배지에서 재식거리에 따른 찰옥2호의 광합성율의 차이는 찰옥2호 파종 54일 후의 밀식(25 X 25 cm)보다는 소식(40 X 40, 55 X 55 cm)재식거리구의 광합성율이 높게 나타났다.

6) 염류집적 시설재배지에서 재식거리에 따른 찰옥2호의 재배 후 배추의 광합성율을 차이는 구간의 광합성율의 차이는 크지는 않았는데 이는 전반적으로 cleaning crop인 찰옥2호를 재배한 후 토양의 염류 농도가 낮아졌기 때문이라고 사료된다.

7) 염류 집적 시설재배지에서 찰옥2호재배 후 후작물인 배추에 염류의 축적의 차이는 크게 나타나지 않았다. 재배구간에서 25 X 25 cm와 40 X 40 cm재식거리구는 non-saline 처리구와 55 X 55 cm재식거리구보다 생체중과 건물중은 약간 높게 나타났다.

## 제 3절. 염류 축적된 시설재배지에서 sudan grass

### 재배에 따른 제염효과와 생리적특성

#### 1. 재료 및 방법

##### 1) 식물재료 및 토양염류조건

Sudan grass 종자를 포트에 종자를 파종하여 30일 후(2001년 4월 20일) 건설하고 균일한 유묘를 선발하여 염류 축적 토양(미사질 식양토)인 시설재배지에 재식거리(10 × 10 cm, 20 × 20 cm) 별로 이식하였고, 관수는 식물체 이식 전에 충분히 주었고, 이식 후에는 4일에 한번씩 5차례 5월10일까지 주었으며, 실험을 실행하는 기간은 관수하지 않았다.

##### 2) 식물체 생체중, 건물중 및 엽면적 측정

이식 후 26일(5월16일), 40일(5월30일), 54일(6월13일)에 각 재식거리 별로 3반복씩 식물체를 채취하여 뿌리, 줄기, 잎을 구분한 후 생체중을 측정하고, 60℃에서 5일간 건조시켜 건물중을 측정하였다. 엽면적은 Area Meter(ADC, Ltd. UK)를 이용하여 측정하였다.

##### 3) 토양 및 식물체 염류 성분 분석

토양 및 식물체의 염류 성분 분석은 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 식물체의 성분 분석은 건조기에서 수분이 완전히 제거된 식물체를 이용하였으며, 시료를 뿌리, 줄기 및 잎으로 나누어 가루를 낸 다음 약 1g정도로 취해서 도기그릇에 넣어 630℃에서 6시간 30분 동안 전기로에서 완전히 태워 회분을 얻었다. 냉각 후 각 도기그릇에 4N HCl 1 ml씩 넣고 유리막대로 저어 충분히 반응시킨 후 여과하여 증류수로 100 ml를 채워 기본시료를 만들었다. 토양은 각 재식거리 토층별로 3반복씩 채취하였으며, 풍건하여 2mm체로 통과시킨 토양 5g에 1N Ammonium acetate(pH 7) 50 ml를 넣고 1시간 동안 shaker로 진

탕한 후 여과하여 기본시료를 만들었다. 양이온이 치환된 식물체 및 토양 기본 시료에서 일정량을 취해 염류별로 희석하여 원자 흡광기(Atomic absorption spectrophotometer)를 이용하여  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Na^+$ 의 농도를 측정하였다.

#### 4) 광합성율의 측정

광합성율 측정은 이식 후 26일(5월16일), 40일(5월 30일) 2회에 걸쳐 실시하였으며, 휴대용 광합성 측정장치인 LAC-4(Analytical Development Company, Ltd. UK)를 이용하여 잎의 광합성율(Leaf Photosynthesis Rate : A)를 처리구 별로 3반복으로 실시하였으며 동시에 기공전도도(Stomatal conductance : Gs)와 엽내  $CO_2$ 농도(Intercellular  $CO_2$  concentration : Ci)도 함께 측정하였다.

#### 5) 유효인산 및 질산태와 암모늄태 질소 함량의 측정

토양의 유효인산 및 질산태와 암모늄태 질소 함량의 분석도 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 유효인산 함량의 측정은 토양 5 g을 달아 삼각플라스크에 넣고, 20 ml의 침출액을 가하여, 10분간 shaking한 다음, 여과한다. 여액을 침출액으로 10배 희석하여 3 ml + 조자액 6 ml + 발색시약 0.4 ml를 시험관에 넣어 잘 혼합하여 30 °C에서 30분간 발색시킨 후 spectrophotometer로 OD 720 nm에서 흡광도를 측정하여 계산한다.

질산태와 암모늄태 질소 함량의 측정은 토양 10 g을 달아 삼각플라스크에 넣고, 50 ml의 침출액(2M-KCl)을 가하여 30분간 shaking한 다음, 여과한다. 여액 20 ml을 Kjeldahl flask에 취하여 0.2~0.3 g MgO를 넣은 후 증류장치에 고정한다. 또한, 삼각플라스크에 Boric acid 10 ml 넣어 증류장치에 고정하여 75 ml 정도 받은 후 0.005N HCl로 적정하여  $NH_4-N$  함량을 계산하였고,  $NO_3-N$  함량은 증류장치에서  $NH_4-N$  여액을 다 받은 Kjeldahl flask에 남은 시료액에 Devard alloy을 소량 첨가하여 증류장치에 고정한다. 또한, 삼각플라스크에 Boric acid 10 ml 넣어 증류장치에 고정하여 75 ml 정도 받은 후 0.005N HCl로 적정하여  $NO_3-N$  함량을 계산하였다.

## 2. 결과 및 고찰

### 1) 염류축적 토양에서 재식거리와 시기에 따른 광합성율의 차이

재식거리에 따른 광합성율은 시기와 상관없이 소식인 20×20 cm에서 이식 후 26일째(5월16일), 40일째(5월30일)에 각각  $24.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ,  $31.4 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  으로 밀식인  $10 \times 10 \text{ cm}$ 에서 비해 각각 1.26배, 1.18배 높게 나타났다(표 4-9). 이것은 밀식에 대한 생육장애현상과 소식에 대한 수광율의 높음으로 사료된다. 이식 후 40일째에서 26일째 보다 밀식인  $10 \times 10 \text{ cm}$ 에서는 1.40배, 소식인  $20 \times 20 \text{ cm}$ 에서는 1.31배 현저한 증가를 나타냈는데, 이것은 시일이 지나면서 식물의 성장에 의한 생리적 활성화와 내염성의 증가로 높게 나타난 것으로 사료된다. 또한 광합성율과 기공전도도 사이에는 높은 정의 상관관계를 나타내고 있는데, 이것은 기공전도도는 정상으로 성장하는 식물의 잎에서 기공의 개도를 진단하는 지수로 사용되는데 기공은  $\text{CO}_2$ 의 확산통로이므로 기공전도도와 광합성이 상관이 있는 것은 당연한 결과일 것이다. 일반적으로 작물생육은 유효기때 염해에 가장 약하다고 알려졌으며, 묘령이 증가함에 따라 내염성이 강해지는 등 품종간에도 차이가 있다고 보고한 바 있는데(Kumar et al, 1983; Park, 1982; Oh and Lee, 1996; Lee and Senadhira, 1996), 본 실험에서도 생육초기인 이식 후 26일에서는 염해에 민감하여 광합성율과 기공전도도가 낮게 나타났으나, 시일이 지나면서 내염성의 증가로 이식 후 40일째(5월30일)에서는 광합성율과 기공전도도가 높게 나타났다.

Table 4-9. Changes in leaf photosynthetic rate of sudan grass according to the different planting distance in saline soil of the plastic film house cultivation.

Date	Planting distance(cm)	A <sup>1</sup> ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Gs ( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Ci (vpm)
2001.5.16	10×10	19.1±1.3	0.13±0.01	148.9±19.2
	20×20	24.0±1.7	0.17±0.03	164.0±22.6
2001.5.30	10×10	26.7±8.9	0.26±0.11	193.4±11.4
	20×20	31.4±8.5	0.30±0.09	181.3±22.9

<sup>1</sup>A; Leaf photosynthetic rate, Gs; Stomatal conductance

Ci; Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

\*; 26 days after transplanting, \*\*; 40 days after transplanting

## 2) 염류축적 토양에서 재식거리에 따른 sudan grass의 생육 특성

재식거리에 따른 식물체의 생육특성을 보면, 재식거리 10 × 10 cm에서 이식 후 26일째(5월16일)의 건물중, 엽면적은 각각 재식거리 20 × 20 cm의 60 %, 53 %로 현저히 낮은 생육정도를 보였는데(표 4-10), 이것은 낮은 광합성율과 상관관계가 있는 것으로 사료된다. 그러나 이식 후 54일째(6월13일)에서는 식물의 내염성의 증가로 재식거리 10 × 10 cm에서 건물중, 엽면적이 각각 재식거리 20 × 20 cm에서의 70 %, 78 %로, 이식 후 26일째 보다 증가한 것을 알 수 있었다. 식물은 염해에 의해 줄기나 뿌리의 신장감소, 건물중의 감소, 엽면적의 감소 등 많은 생리적 장애현상을 나타낸다고 하였다(Evers et al, 1997; Shalhevet et al, 1995). 본 실험에서도 재식거리에 따라 생육의 차이를 보이는

것은 밀식에 따른 광, CO<sub>2</sub>, 양분 등의 성장경쟁과 근권이 차지하는 염에 대한 상대적 비율이 높는데 대한 생육 장애현상으로 사료된다.

**Table 4-10. Changes in fresh weight, dry weight and leaf area of sudan grass according to the different planting distance of in saline soil of plastic film house cultivation.**

Date	Planting distance(cm)		Fresh weight(g)	Dry weight(g)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )
01.5.16*	10×10	Root	0.9±0.1	0.17±0.02	118±21
		Stem	1.4±0.3	0.21±0.05	
		Leaf	1.7±0.3	0.45±0.09	
		Total	4.0±0.7	0.83±0.16	
	20×20	Root	0.9±0.1	0.19±0.02	223±30
		Stem	2.5±0.4	0.37±0.05	
		Leaf	3.3±0.6	0.80±0.14	
		Total	6.7±1.1	1.36±0.21	
01.6.13**	10×10	Root	20.7±2.7	3.6±0.4	2509±177
		Stem	96.1±6.2	11.2±0.8	
		Leaf	43.2±3.4	9.7±0.4	
		Total	160.0±12.3	24.5±1.6	
	20×20	Root	23.9±4.5	4.4±1.0	3236±174
		Stem	154.8±15.8	17.8±2.3	
		Leaf	60.5±2.4	13.0±0.8	
		Total	238.2±22.7	35.2±4.1	

\*; 26 days after transplanting

\*\*; 54 days after transplanting

### 3) 염류축적 토양에서 재식거리와 시기에 따른 sudan grass의 염류축적량의 차이

시기에 따른 뿌리의 염류축적량의 차이를 보면 두 재식거리에서  $K^+$ 와  $Mg^{++}$ 는 이식 후 40일째(5월30일)에서 54일째(6월13일)보다 높게 나타났지만,  $Ca^{++}$ 와  $Na^+$ 는 반대로 이식 후 54일에서 더 높게 나타났다. 재식거리에 따른 뿌리의 염류축적량의 차이를 보면 대체적으로 재식거리  $10 \times 10$  cm에서  $20 \times 20$  cm에서 보다 높은 경향을 나타냈다(그림 4-1, 4-2, 4-3, 4-4). 시기에 따른 줄기의 염류축적량의 차이를 보면 대체적으로  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ 와  $Na^+$ 는 이식 후 40일에서 더 높게 나타났지만,  $Ca^{++}$ 는 이식 후 54일째에서 더 높게 나타났다. 재식거리에 따른 뿌리의 염류 축적량의 차이를 보면  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ 와  $Na^+$ 는 재식거리별 차이를 나타나지 않았지만,  $Ca^{++}$ 는 재식거리  $10 \times 10$  cm에서 다른 재식거리보다 높게 나타났다. 시기에 따른 잎의 염류축적량의 차이를 보면 대체로  $K^+$ 와  $Mg^{++}$ 는 이식 후 40일째(5월30일)에서 54일째(6월13일)보다 높게 나타났지만,  $Ca^{++}$ 와  $Na^+$ 는 반대로 이식 후 54일에서 더 높게 나타났다. 또한 시기와도 상관없이 줄기와 잎에서의 함량이 뿌리에서 보다 훨씬 높게 나타났는데, 이것은 성장조직과 같은 분열조직에 존재하여 광합성과 단백질 합성 등 대사활동에 관여하기 때문인 것으로 사료되며, 다른 염에 비해 축적량이 훨씬 높은 것은 그들과의 경쟁에서 앞서기 때문인 것으로 사료된다. 벼에 있어서 내염성은  $K^+$ 함량의 지상부 축적으로 효소활성과 기공개폐에 영향을 주어 내성을 나타낸다고 하였으며(Lee and Senadhira, 1996; Gregorio and Senadhira, 1993), 또한  $K^+$ 는 세포내에서 osmoticum으로서 사용돼 세포내 팽압을 유지시키는 역할을 하기 때문에  $K^+$ 의 절대적양과 함께 조직내 다른 무기이온과 균형정도가 팽압 유지 및 대사과정에 절대 중요하다고 하였다(Lee et al, 1998). 재식거리에 따른 식물체의 염축적량의 차이를 보면, 대체로 밀식인  $10 \times 10$  cm에서 소식인  $20 \times 20$  cm에 비해 높게 나타난 것을 알 수 있었는데, 이것은 밀식에 의한 식물체사이의 무기영양흡수의 경쟁으로 사료된다.

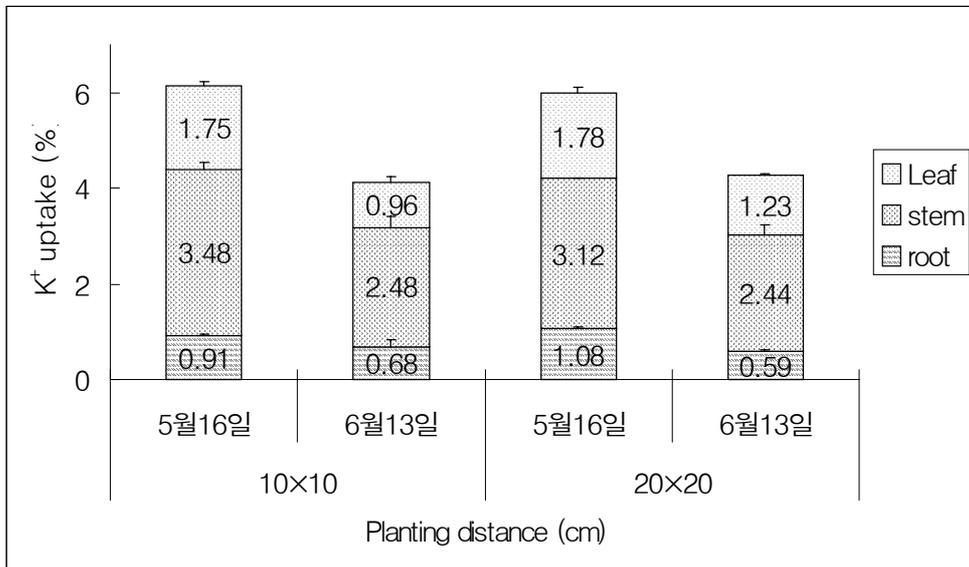


Fig. 4-1. Changes in K<sup>+</sup> accumulation of sudan grass according to the different planting distance in saline soil of the plastic film house cultivation

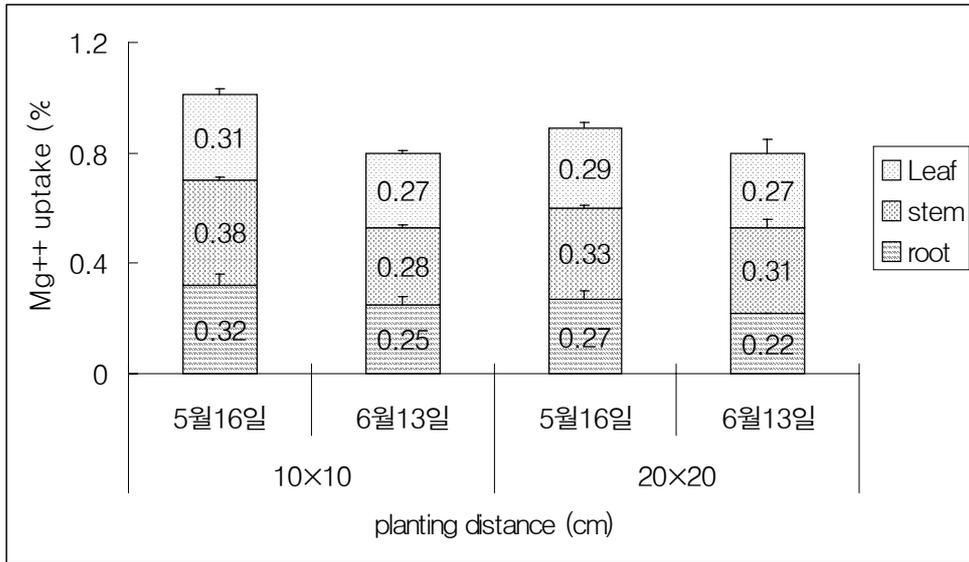


Fig. 4-2. Changes in Mg<sup>++</sup> accumulation of sudan grass according to the different planting distance in saline soil of the plastic film house cultivation

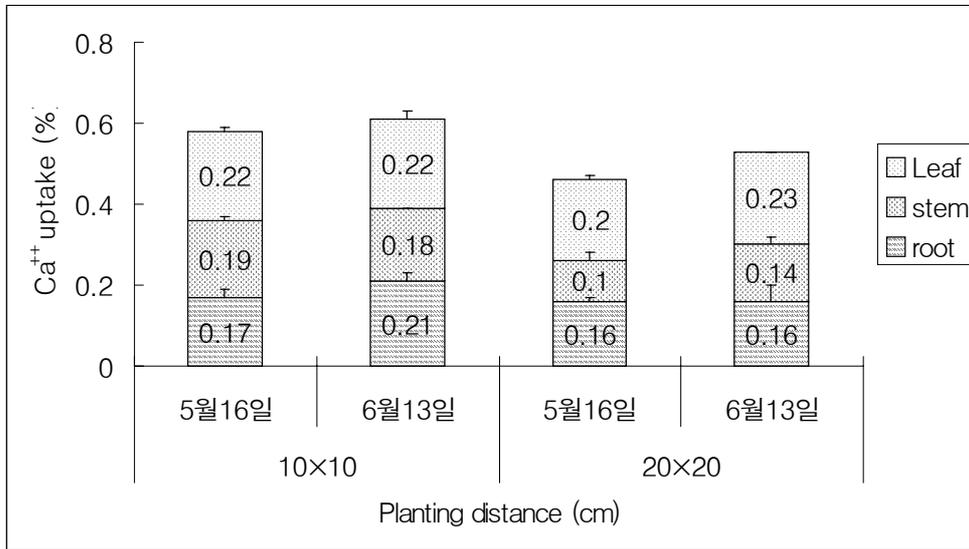


Fig. 4-3. Changes in Ca<sup>++</sup> accumulation of sudan grass according to the different planting distance in saline soil of the plastic film house cultivation

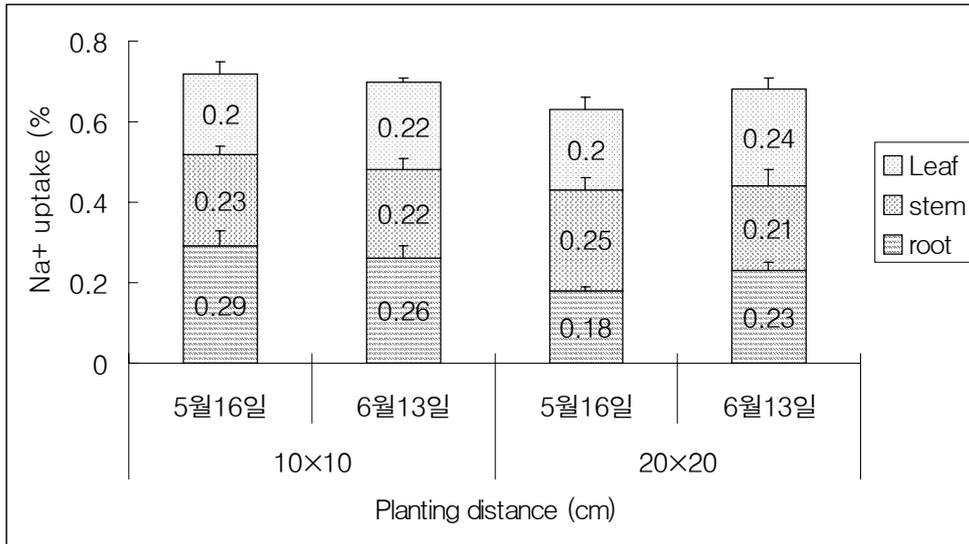


Fig. 4-4. Changes in Na<sup>+</sup> accumulation of sudan grass according to the different planting distance in saline soil of the plastic film house cultivation

#### 4) Sudan grass 재식거리와 시기에 따른 토양의 염류축적량의 변화

재식거리에 따른 토양의 염류축적량의 변화를 보면, 이식 후 54일째에서는 40일째의 표토의 염류함량에 비해, 재식거리  $10 \times 10$  cm,  $20 \times 20$  cm에서 각각  $\text{Ca}^{++}$  함량은 36.6 %, 59.9 %로,  $\text{K}^+$  함량은 28.0 %, 55.9 %로,  $\text{Mg}^{++}$  함량은 30.6 %, 68.5 %로,  $\text{Na}^+$  함량은 22.9 %, 39.4 %로 감소되었는데, 식물체에 의한 제염은 밀식인  $10 \times 10$  cm에서 소식인  $20 \times 20$  cm에서 보다 더 효과적으로 나타났다(표 4-11). 이것은 식물체내의 염축적량이 밀식인  $10 \times 10$  cm에서 소식인  $20 \times 20$  cm에 비해 높게 나타난 것과 상관관계가 있는 것으로 사료된다. 또한 밀식에 따른 단위면적당 식물체수가 많은 것도 중요한 요인의 하나로 사료된다. 염류가 집적된 사양토에서 토마토를 재배했을 때  $\text{K}^+$ 의 토양 잔존양이 식물체 흡수량의 3.5배까지 되었다고 하였는데(이 등, 1994), 본 실험에서도 sudan grass 재배 후 양분의 토양함량 대비 식물체 흡수량을 고려해 볼 때 후작물의 감비재배 혹은 무비재배가 가능할 것으로 생각된다. 또한 전반적으로 보면 표토의 염류 농도가 깊이 20 cm 토양의 염류농도보다 더 높게 나타났다. 이는 시설재배지 특성상 염류의 용탈을 야기 할 수 있는 부재로 생각되며, 특히 강우가 없고 고온으로 인한 수분증발이 많아 염류가 표토에 잔존한 것으로 사료된다. 시설재배지에서는 고온으로 수분 증발량이 지하 투수량 보다 상대적으로 많은 관수에도 불구하고, 모세관현상에 의해 염류가 지표면에 축적된다고 보고하였다(Kim et al., 1997; Jung et al, 1994).

Table 4-11. Change in salt accumulation contents according to the different planting distance of sudan grass in saline soil of the plastic film house cultivation.

Date	Planting distance (cm)	Soil depth (cm)	(c mol/kg)			
			Ca	Mg	Na	K
01.5.30*	10×10	0	9.81±1.38	2.48±0.05	0.45±0.01	6.42±0.39
		20	3.26±0.34	1.16±0.05	0.34±0.01	2.53±0.19
	20×20	0	10.49±1.12	2.51±0.01	0.48±0.01	8.51±1.03
		20	3.16±1.15	1.17±0.51	0.31±0.01	3.35±1.93
01.6.13**	10×10	0	3.59±0.27	0.76±0.04	0.10±0.01	1.80±0.35
		20	2.74±0.17	0.74±0.11	0.12±0.02	1.79±0.15
	20×20	0	6.28±2.06	1.72±0.62	0.18±0.07	4.76±1.88
		20	1.89±0.45	0.55±0.16	0.07±0.03	1.45±0.29

\*; 40 days after transplanting,

\*\*; 54 days after transplanting

Table 4-12. Changes in  $P_2O_5-P$ ,  $NO_3^-N$  and  $NH_4^+N$  accumulation contents according to the different planting distance of sudan grass in saline soil of the plastic film house.

Date	Planting distance (cm)	Soil depth (cm)	( ppm )		
			$P_2O_5-P$	$NO_3^-N$	$NH_4^+N$
01.6.13*	10×10	0	1082±109	109±34	43±10
		20	949±23	105±63	23±10
	20×20	0	1284±179	175±78	61±26
		20	971±35	105±33	26±8

\*; 54 days after transplanting

이식 후 54일째(6월 13일)에 재식거리에 따른 토양의 유효인산, 질산태와 암모늄태 질소의 함량의 차이를 보면, 재식거리 20 × 20 cm인 소식에서 재식거리 10 × 10 cm인 밀식에 비해 높게 나타났는데, 표토의 유효인산, 질산태와 암모늄태 질소 함량이 각각 1.3배, 1.6배, 1.4배로 높게 나타났다(표 4-12). 이것은 토양의 염류경우와 마찬가지로 재식거리 10 × 10 cm에서 밀식에 의한 식물체의 양분흡수 경쟁으로 사료된다. 그러나 심토의 유효인산, 질산태와 암모늄태 질소 함량은 두 재식거리별 차이를 보이지 않았다.

### 3. 결 과 요 약

1) 염류집적 시설재배 토양에서 sudan grass 재배에 따른 제염효과와 생육 특성을 고찰해 본 결과에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 염류집적 시설재배지에서 재식거리에 따른 sudan grass 광합성을 차이를 보면 시기와 상관 없이 밀식인 10 × 10 cm에서 소식인 20 × 20 cm에서 보다 낮게 나타났으며, 시일이 지나면서 두 재식거리 모두에서 현저하게 증가하였다. 또한 생육초기 밀식인 10 × 10 cm에서 현저한 생육장애를 나타냈으나, 시일이 지나면서 다른 재식거리와 차이를 줄였다.

2) 식물체내의 염분성분 함량은 밀식인 10 × 10 cm에서 소식인 20 × 20 cm에서 보다 높게 나타났으며, 재식거리 별 차이 없이  $K^+$  함량이 다른 염분함량보다 훨씬 높게 나타났으며, 또한 지상부의 함량이 지하부 보다 높게 나타났다.

3) 이식 후 54일째(6월 13일)에 재식거리에 따른 토양의 유효인산, 질산태와 암모늄태 질소의 함량의 차이를 보면, 재식거리 20 × 20 cm인 소식에서 재식거리 10 × 10 cm인 밀식에 비해 높게 나타났는데, 표토의 유효인산, 질산태와 암모늄태 질소 함량이 각각 1.3배, 1.6배, 1.4배로 높게 나타났다.

4) 식물체의 재배에 따른 토양의 제염효과를 보면 소식인 20 × 20 cm에서 비효과적인 반면에 밀식인 10 × 10 cm에서는  $K^+$ 는 28 %,  $Ca^{++}$ 는 36.6 %,  $Mg^{++}$ 는 30.6 %,  $Na^+$ 는 22.9 %로 이식 후 54일째에서 이식 후 40일째에 비해 현저하게 감소하여 제일 효과적으로 나타났다.

## 제 4절. 염류가 축적된 시설재배지에서 칼옥2호 재배에 따른 토양 제염효과와 생육특성

### 1. 재료 및 방법

#### 1) 식물재료 및 토양 토양 염류조건

칼옥 2호종자를 포트에 종자를 2002년 4월 18일에 파종하여 20일 후(5월8일) 건설하고 균일한 유묘를 유관으로 선별하였다. 염류 축적 토양(미사질 식양토)에 재식거리(20 × 20 cm, 30 × 30 cm, 40 × 40 cm) 별로 이식하였다. 관수는 식물체 이식 전에 충분히 주었고, 이식 후에는 3일에 한번씩 7차례 5월11일까지 주었으며, 실험을 실행하는 기간은 관수하지 않았다.

#### 2) 식물체 생체중, 건물중 및 엽면적 측정

이식 후 23일(5월31일), 37일(6월14일)에 각 재식거리 별로 3반복씩 식물체를 채취하여 뿌리, 줄기, 잎을 구분한 후 생체중을 측정하고, 60 °C에서 7일간 건조시켜 건물중을 측정하였다. 엽면적은 AREA METER(Analytical Development Company, Ltd. UK)를 이용하여 측정하였다.

#### 3) 토양 및 식물체 염류 성분 분석

토양 및 식물체의 염류 성분 분석은 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 식물체의 성분 분석은 수분이 완전히 제거된 식물체를 이용하였으며, 시료를 뿌리, 줄기 및 잎으로 나누어 가루를 낸 다음 약 1 g정도로 취해서 도기 그릇에 넣어 630 °C에서 6시간 30분 동안 전기로에서 태워 회분을 얻었다. 냉각 후 도기 그릇에 4N HCl 1 ml를 넣고 유리막대로 저어 충분히 반응시킨 후 여과하여 3차 증류수로 100 ml를 채워 기본시료를 만들었다.

토양의 양이온 성분분석은 각 재식거리 토층별로 3반복씩 토양을 채취하였으며, 풍건하여 2 mm체로 통과시킨 토양 5 g에 1N Ammonium acetate 50 ml

를 넣고 1시간 동안 shaker로 교반한 후 여과하여 기본시료를 만들었다. 양이 온이 치환된 식물체 및 토양 기본시료에서 일정량을 취해 염류별로 희석하여 원자 흡광기(Atomic absorption spectrophotometer)를 이용하여  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Na^+$ 의 농도를 측정하였다.

#### 4) 광합성율의 측정

광합성율 측정은 이식 후 23일(5월31일), 30일(6월7일) 2회에 걸쳐 실시하였으며, 휴대용 광합성 측정장치인 LAC-4(Analytical Development Company, Ltd. UK)를 이용하여 잎의 광합성율(Leaf Photosynthesis Rate : A)를 처리구 별로 3반복으로 실시하였으며 동시에 기공전도도(Stomatal conductance : Gs)와 엽내  $CO_2$ 농도(Intercellular  $CO_2$  concentration : Ci)도 함께 측정하였다.

#### 5) 유효인산 및 질산태와 암모늄태 질소 함량의 측정

토양의 유효인산 및 질산태와 암모늄태 질소 함량의 분석도 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 유효인산 함량의 측정은 토양 5 g을 달아 삼각플라스크에 넣고, 20 ml의 침출액을 가하여, 10분간 shaking한 다음, 여과한다. 여액을 침출액으로 10배 희석하여 3 ml + 조자액 6 ml + 발색시약 0.4 ml를 시험관에 넣어 잘 혼합하여 30 °C에서 30분간 발색시킨 후 spectrophotometer로 OD 720 nm에서 흡광도를 측정하여 계산한다.

질산태와 암모늄태 질소 함량의 측정은 토양 10 g을 달아 삼각플라스크에 넣고, 50 ml의 침출액(2M-KCl)을 가하여 30분간 shaking한 다음, 여과한다. 여액 20 ml을 Kjeldahl flask에 취하여 0.2~0.3 g MgO를 넣은 후 증류장치에 고정한다. 또한, 삼각플라스크에 Boric acid 10 ml 넣어 증류장치에 고정하여 75 ml 정도 받은 후 0.005N HCl로 적정하여  $NH_4-N$  함량을 계산하였고,  $NO_3-N$  함량은 증류장치에서  $NH_4-N$  여액을 다 받은 Kjeldahl flask에 남은 시료액에 Devard alloy을 소량 첨가하여 증류장치에 고정한다. 또한, 삼각플라스크에 Boric acid 10 ml 넣어 증류장치에 고정하여 75 ml 정도 받은 후 0.005N HCl로 적정하여  $NO_3-N$  함량을 계산하였다.

## 2. 결과 및 고찰

### 1) 염류축적 토양에서 재식거리와 시기에 따른 광합성율의 차이

재식거리에 따른 광합성율은 이식 후 23일째(5월31일)에서는 재식거리  $40 \times 40$  cm에서  $28.6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 으로 제일 낮게 나타났으나, 이식 후 30일째(6월 7일)에서는 재식거리별 차이가 나타나지 않았다(표 4-13). 이것은 23일째(5월 31일)에서 재식거리  $40 \times 40$  cm에서의 염류의 함량이 다른 재식거리구보다 높게 나타났는데, 특히  $\text{K}^+$  함량과  $\text{Ca}^{++}$  함량이 다른 재식거리구보다 거의 1.5배 가량 높게 나타났다. 아마도 염류피해로 말미암아 생육저해를 받은 것으로 사료된다. 그러나 이식 후 30일째(6월7일)에서는 모든 재식거리에서 광합성율의 증가를 나타냈고, 특히 재식거리  $40 \times 40$  cm에서 이식 후 23일째(5월 31일)에 비해 1.32배로 현저한 증가를 나타냈다. 이것은 식물체 성장으로 인한 생리적 활성의 증가와 수광율의 높음으로 광합성율이 증가한 것으로 사료된다. 또한 광합성율과 기공전도도 사이에는 높은 정의 상관관계를 나타내고 있는데, 이것은 기공전도도는 정상으로 성장하는 식물의 잎에서 기공의 개도를 진단하는 지수로 사용된다. 기공은  $\text{CO}_2$ 의 확산통로이므로 기공전도도와 광합성이 상관이 있는 것은 당연한 결과일 것이다. 일반적으로 작물생육은 유효기때 염해에 가장 약하다고 알려졌으며, 옥수수의 묘령이 증가함에 따라 내염성이 강해지는 등 품종간에도 차이가 있다고 보고되고 있다(Kumar et al, 1983; Park, 1982; Oh and Lee 1996; Lee and Senadhira, 1996). 본 실험에서도 이식 후 23일째(5월31일)에서는 염해에 민감하여 광합성율과 기공전도도가 낮게 나타났으나, 시일이 지나면서 내염성의 증가로 이식 후 30일째(6월7일)에서는 광합성율과 기공전도도가 높게 나타났다.

Table 4-13. Changes in leaf photosynthetic rate of Chalok-2 according the different to planting distance in saline soil of the plastic film house cultivation.

Date	Planting distance(cm)	A <sup>1</sup>	Gs	Ci
		( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	(ppm)
01.05.31*	20×20	32.71±2.03	0.30±0.04	81.83±9.13
	30×30	33.06±1.25	0.36±0.01	100.2±11.2
	40×40	28.61±0.24	0.26±0.02	92.78±9.44
01.06.07**	20×20	39.34±0.72	0.55±0.03	94.16±11.9
	30×30	38.59±1.93	0.59±0.09	118.0±20.1
	40×40	37.68±5.66	0.47±0.10	108.4±8.15

<sup>1</sup>A; Leaf photosynthetic rate, Gs; Stomatal conductance

Ci; Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

\*; 23 days after transplanting, \*\*; 30 days after transplanting

## 2) 염류축적 토양에서 재식거리와 시기에 따른 찰옥2호의 생육 특성

재식거리에 따른 찰옥2호의 생육 특성 차이를 보면, 이식 후 23일째(5월31일)에서는 재식거리  $30 \times 30$  cm에서 건물중과 엽면적이 각각 9.1 g과  $1,235 \text{ cm}^2$ 로 생육상태가 제일 좋았으나, 재식거리  $40 \times 40$  cm에서는 건물중과 엽면적이 각각 6.0 g과  $734 \text{ cm}^2$ 로 염에 의한 생육저해가 가장 심하게 나타났다(표 4-14). 이것은 이식 후 23일째(5월31일)에서 재식거리  $30 \times 30$  cm에서의 광합성율이 제일 높게 나타났으나, 재식거리  $40 \times 40$  cm에서는 염류피해로 광합성율이 제일 낮게 나타난 것과 상관관계가 있는 것으로 사료된다. 식물은 염해에 의해 줄기나 뿌리의 신장감소, 건물중의 감소, 엽면적의 감소 등 많은 생리적 장애현상을 나타낸다고 보고하였다(Evers et al, 1997; Shalhevet et al, 1995; Munns et al, 1995). 그러나 이식 후 37일째(6월14일)에서는 오히려 재식거리  $40 \times 40$  cm에서 건물중과 엽면적이 각각 567 g과  $4,782 \text{ cm}^2$ 로 생육상태가 제일 좋았다. 이것은 재식거리  $40 \times 40$  cm에서 이식 후 30일째(6월7일)의 광합성율이 다른 재식거리에 비해 현저하게 증가하여 왕성하게 성장한 것으로 사료된다.

Table 4-14. Changes in fresh weight, dry weight and leaf area of Chalok-2 according to the different planting distance in saline soil of plastic film house cultivation.

Date	Planting distance(cm)		FW. (g)	DW. (g)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )
01.5.31*	20×20	Root	8.9±1.0	1.1±0.16	1045±65
		Stem	30.9±2.6	3.0±0.22	
		Leaf	21.2±0.8	4.1±0.27	
		Total	61.0±4.7	8.0±0.55	
	30×30	Root	10.5±2.4	1.3±0.29	1235±131
		Stem	34.8±5.4	3.6±0.44	
		Leaf	25.2±2.7	4.8±0.47	
		Total	70.5±10.5	9.1±1.20	
	40×40	Root	7.1±1.0	0.8±0.11	734±116
		Stem	19.6±5.0	2.1±0.49	
		Leaf	15.8±3.2	3.1±0.60	
		Total	42.5±9.2	6.0±1.20	
01.6.14**	20×20	Root	32±7.9	3.9±1.4	3531±220
		Stem	215±24.4	15.3±1.1	
		Leaf	72±4.8	12.8±0.6	
		Total	319±37.1	32.0±3.1	
	30×30	Root	50±12.1	5.7±1.6	4429±220
		Stem	351±24.0	26.1±0.9	
		Leaf	97±6.3	17.5±0.7	
		Total	498±42.4	49.3±3.2	
	40×40	Root	56±4.4	7.6±1.2	4782±254
		Stem	400±40.9	32.3±4.4	
		Leaf	111±9.6	20.0±1.6	
		Total	567±54.4	59.9±7.2	

\*; 23 days after transplanting, \*\*; 37 days after transplanting

### 3) 염류축적 토양에서 재식거리와 시기에 따른 찰옥2호의 염류축적량의 차이

염류축적 토양에서 찰옥2호 성장시기에 따른 식물체의 염류축적량의 차이를 보면, 재식거리에 상관없이  $K^+$  함량이 다른 염류함량들보다 훨씬 높게 나타났다 (그림 4-5, 4-6, 4-7, 4-8). 벼에 있어서 내염성은  $K^+$  함량의 지상부 축적으로 효소활성과 기공개폐에 영향을 주어 내성을 나타낸다고 하였으며(Lee and Senadhira, 1996; Gregorio and Senadhira, 1993), 또한  $K^+$ 는 세포내에서 osmoticum으로서 사용되어 세포내 팽압을 유지시키는 역할을 하기 때문에  $K^+$ 의 절대적양과 함께 조직내 다른 무기이온과 균형정도가 팽압유지 및 대사과정에 절대 중요하다고 보고하였다(Lee et al, 1998). 재식거리에 따른 찰옥2호의 염류축적량의 차이를 보면, 이식 후 23일째(5월31일)의  $K^+$  함량은 8.19%로 재식거리  $20 \times 20\text{cm}$ 에서,  $Mg^{++}$  함량은 1.26%,  $Ca^{++}$  함량은 0.69%,  $Na^+$  함량은 1.26%로 재식거리  $40 \times 40\text{cm}$ 에서 제일 높게 나타났다. 그러나 이식 후 37일째(6월14일)에서의 식물체내의 염류함량에는 큰 차이가 나타나지 않았다.

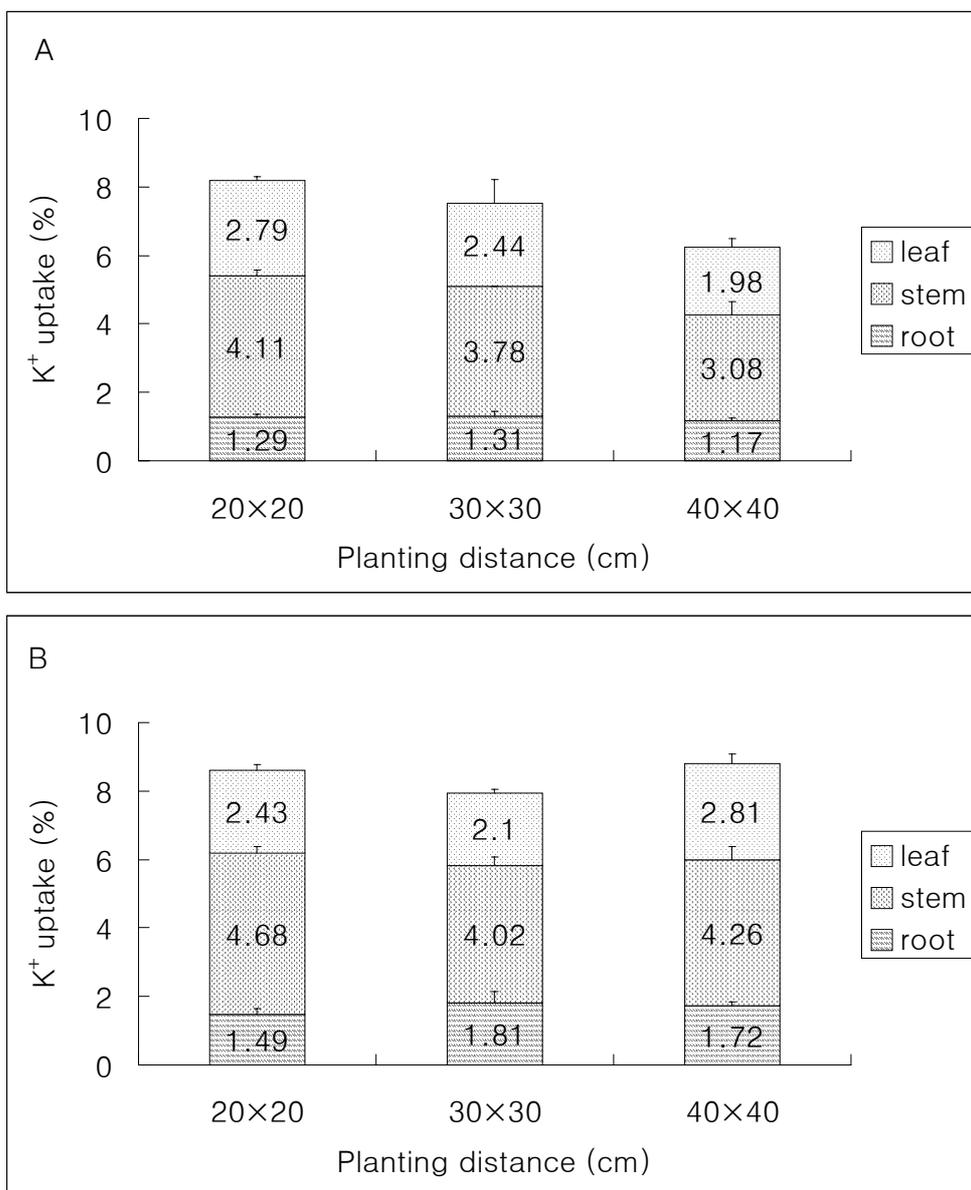


Fig. 4-5. Changes in  $K^+$  accumulation of chalok-2 according to planting distance and growth stage in saline soil of plastic film house cultivation.

A; 23 days after transplanting

B; 37 days after transplanting

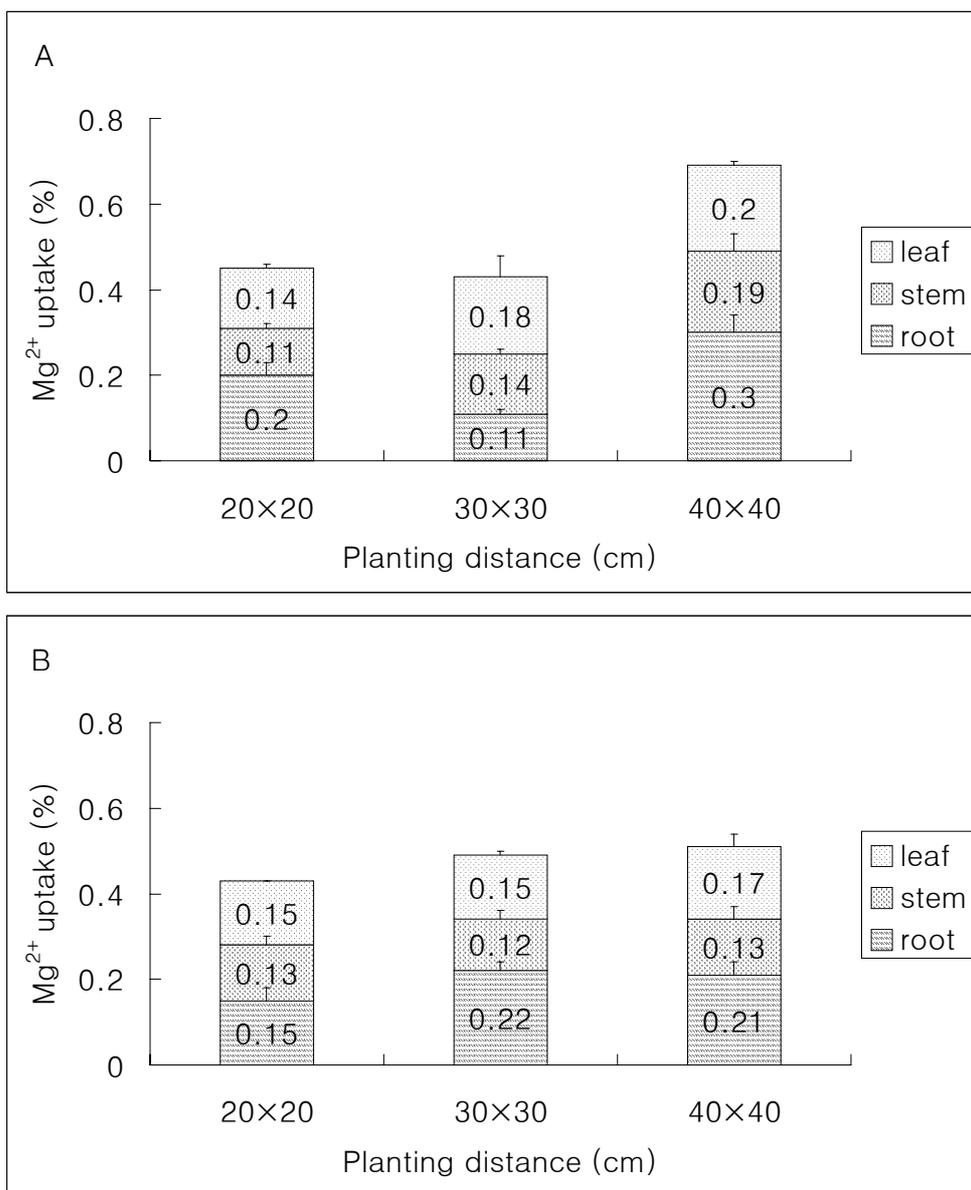


Fig. 4-6. Changes in  $Mg^{++}$  accumulation of Chalok-2 according to planting distance and growth stage in saline soil of plastic film house cultivation.

A; 23 days after transplanting

B; 37 days after transplanting

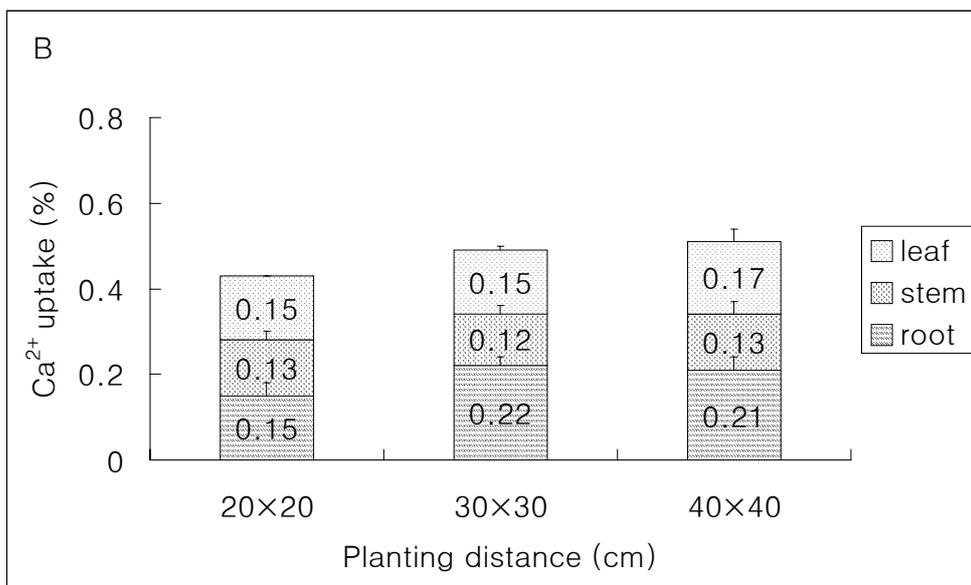
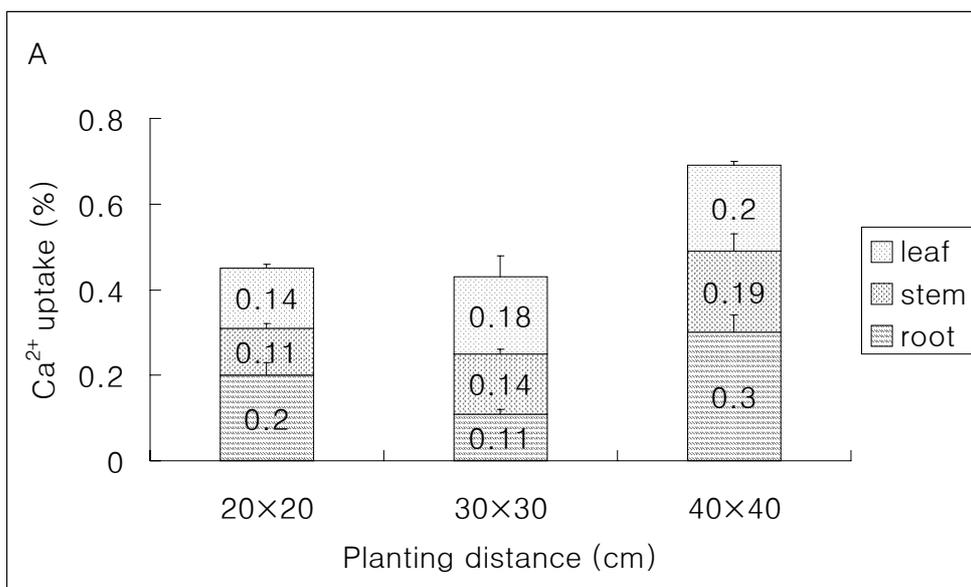


Fig. 4-7. Changes in  $\text{Ca}^{++}$  accumulation of Chalok2 according to planting distance and growth stage in saline soil of plastic film house cultivation.

A; 23 days after transplanting

B; 37 days after transplanting

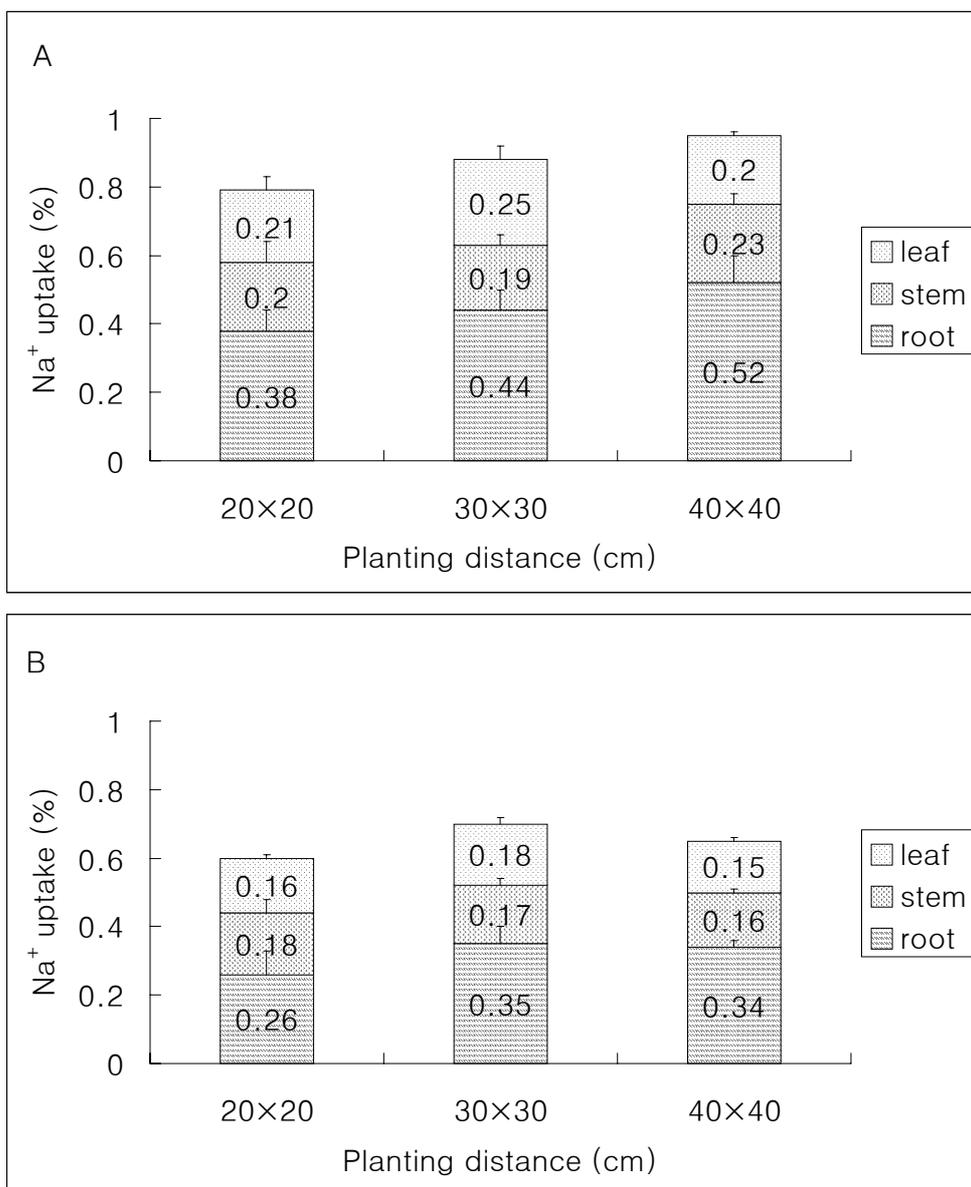


Fig. 4-8. Changes in Na<sup>+</sup> accumulation of Chalok-2 according to planting distance and growth stage in saline soil of plastic film house cultivation.

A; 23 days after transplanting

B; 37 days after transplanting

#### 4) 찰옥2호 재식거리와 시기에 따른 토양의 염류축적량의 변화

재식거리에 따른 토양의 염류축적량의 변화를 보면, 이식 후 37일째(6월14일)에서는 이식 후 23일째(5월31)의 표토 염류함량에 비해, 20 × 20 cm, 30 × 30 cm, 40 × 40 cm에서 각각  $Ca^{++}$  함량은 40.0 %, 29.1 %, 37.8 %로,  $K^+$  함량은 46.5 %, 27.3 %, 34.0 %로,  $Mg^{++}$  함량은 28.5 %, 26.6 %, 39.0 %로,  $Na^+$  함량은 26.2 %, 23.3 %, 46.3 %로 감소되었는데, 제염는 30 × 30 cm에서 제일 효과적으로 나타났다(표 4-15). 또한 전반적으로 보면 표토의 염류 농도가 깊이 20 cm 토양의 염류농도보다 더 높게 나타났다. 이는 시설재배지 특성상 염류의 용탈을 야기할 수 있는 부재로 생각되며, 특히 강우가 없고 고온으로 인한 수분증발이 많아 염류가 표토에 잔존한 것으로 사료된다. 시설내 고온으로 수분 증발량이 지하 투수양 보다 상대적으로 많은 관수에도 불구하고, 모세관현상에 의해 염류가 지표면에 축적된다고 보고하였다(김 등, 1997; 정 등, 1994).

Table 4-15. Changes in salt accumulation contents according to the different planting distance of Chalok-2 in saline soil of the plastic film house cultivation.

Date	Planting distance (cm)	Soil depth (cm)	( cmol/kg )				
			K	Mg	Ca	Na	
01.05.31*	20×20	0	5.87±0.69	2.28±0.18	7.41±1.45	0.42±0.03	
		20	1.55±0.12	0.61±0.14	1.78±0.37	0.25±0.01	
	30×30	0	6.51±1.18	2.29±0.12	7.24±1.73	0.43±0.03	
		20	1.95±0.55	0.74±0.09	1.98±0.08	0.25±0.02	
	40×40	0	8.60±0.80	2.59±0.01	11.6±1.13	0.54±0.02	
		20	3.02±0.62	1.27±0.38	3.01±0.51	0.29±0.02	
	01.06.14**	20×20	0	2.73±0.39	0.65±0.07	2.97±0.51	0.11±0.02
			20	1.33±0.10	0.59±0.04	1.44±0.04	0.07±0.01
30×30		0	1.78±0.23	0.61±0.04	2.11±0.13	0.09±0.02	
		20	0.84±0.35	0.60±0.07	1.86±0.20	0.37±0.01	
40×40		0	2.92±0.17	1.01±0.08	4.26±0.40	0.25±0.01	
		20	0.73±0.07	0.92±0.05	2.73±0.22	0.09±0.01	

\*; 23 days after transplanting

\*\*; 37 days after transplanting

Table 4-16. Changes in  $P_2O_5$ -P,  $NO_3^-$ -N and  $NH_4^+$ -N accumulation contents according to the different planting distance of Chalok-2 in saline soil of the plastic film house.

Date	Planting distance (cm)	Soil depth (cm)	( ppm )		
			$P_2O_5$ -P	$NO_3^-$ -N	$NH_4^+$ -N
01.06.14*	20×20	0	1013±106	83±25	28±1.45
		20	848±62	68±14	13±3.6
	30×30	0	996±20	26±7.1	18±6.2
		20	841±41	8.8±0.0	8.8±0.0
	40×40	0	1012±136	89±13	18±6.5
		20	842±41	15±5.5	18±6.5

\*; 37days after transplanting

이식 후 37일째(6월 14일)에, 재식거리에 따른 토양의 유효인산, 질산태와 암모늄태의 함량의 차이를 보면, 표토와 심토 모두에서 유효인산의 함량은 세 재식거리별 차이를 나타내지 않았지만, 표토와 심토 모두에서 질산태와 암모늄태 질소는 재식거리 30 × 30 cm에서 다른 두 재식거리보다 훨씬 낮게 나타났다 (표 4-16).

5) 식물체내의 염류성분의 상호관계.

염류가 집적된 시설재배지에서 식물체내의 염류성분 사이의 상호관계를 보면,  $K^+$ 는  $Ca^{++}$ 와  $Na^+$  사이에는 유의적인 부의 상관을 나타냈으나,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$  및  $Na^+$  세 염류성분 사이에서는 유의적인 정의 상관을 나타냈다(표 4-17). 석회, 고토 사이에는 유의적인 정의 상관을 나타내었으며 칼리는 석회 및 고토와 부의 상관을 보이면서 서로간의 길항적 흡수를 나타낸다고 보고하였는데(하 등, 1997), 본 실험에서도 일치한 결과를 나타내고 있다.

Table 4-17. Correlation coefficients among the salt contents in chalok-2.

	K	Mg	Ca	Na
K		-0.463	-0.473*	-0.545*
Mg	-0.463		0.685**	0.789**
Ca	-0.473*	0.685**		0.544*
Na	-0.545*	0.789**	0.544*	

### 3. 결 과 요 약

1) 재식거리에 따른 찰옥2호의 광합성율의 차이를 보면, 이식 후 23일째(5월 31일)에서 염류집적이 높은 재식거리  $40 \times 40$  cm에서 제일 낮게 나타났으나, 시일이 지나면서 식물체의 내염성 증가로 차이가 보이지 않았다. 식물체의 생육 특성의 차이를 보면, 이식 후 23일째(5월31일)에서 염류로 재식거리  $40 \times 40$  cm에서 생육저해를 나타냈지만, 시일이 지나면서 왕성한 성장을 보였다.

2) 식물체내의 염분함량의 차이를 보면, 대체로 재식거리  $40 \times 40$  cm에서 다른 재식거리보다 높은 경향을 보였으며, 염류별 흡수 차이를 보면  $K^+$  함량이 다른 염류함량보다 훨씬 높게 나타났다.

3) 식물체내의 염류성분 사이의 상호관계를 보면,  $K^+$ 는  $Ca^{++}$ 와  $Na^+$  사이에는 유의적인 부의 상관을 나타냈으나,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$  및  $Na^+$  세 염류성분 사이에서는 유의적인 정의 상관을 나타냈다.

4) 이식 후 37일째(6월 14일)에, 재식거리에 따른 토양의 유효인산, 질산태와 암모늄태의 함량의 차이를 보면, 표토와 심토 모두에서 유효인산의 함량은 세 재식거리별 차이를 나타내지 않았지만, 표토와 심토 모두에서 질산태와 암모늄태 질소는 재식거리  $30 \times 30$  cm에서 다른 두 재식거리보다 훨씬 낮게 나타났다.

5) 재식거리  $30 \times 30$  cm에서는  $K^+$ 는 28 %,  $Ca^{++}$ 는 36.6 %,  $Mg^{++}$ 는 30.6 %,  $Na^+$ 는 22.9 %로 이식 후 37일째에서 이식 후 23일째에 비해 현저하게 감소하여 제일 효과적으로 나타났다. 전반적으로 표토의 염류함량이 심토보다 높게 나타났다.

## 제 5절. Cleaning crop 재배후 후작물 오이, 호밀의 생육특성

### 1. 재료 및 방법

#### 1) 식물재료 및 토양조건

25일된 오이 육묘를 8월 2일에 cleaning(cleaning crop을 재배한 구역)구역과 Non(cleaning crop을 재배하지 않은 구역)구역에 이식하여 재배하였다. 오이 수확 후 겨울 호밀을 10월 13일 파종하였다.

#### 2) 식물체 생체중, 건물중 및 엽면적 측정

오이는 이식 후 33일(9월 4일)에, 겨울 호밀은 이듬해 3월 9일에 두 구역에서 3반복씩 식물체를 채취하여 뿌리, 줄기, 잎을 구분한 후 생체중을 측정하고, 60 °C에서 5일간 건조시켜 건물중을 측정하였다. 엽면적은 Area Meter(ADC, Ltd. UK)를 이용하여 측정하였다.

#### 3) 토양 및 식물체 염류 성분 분석

토양 및 식물체의 염류 성분 분석은 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 식물체의 성분 분석은 건조기에서 수분이 완전히 제거된 식물체를 이용하였으며, 시료를 뿌리, 줄기 및 잎으로 나누어 가루를 낸 다음 약 1g정도로 취해서 도기그릇에 넣어 630 °C에서 6시간 30분 동안 전기로에서 완전히 태워 회분을 얻었다. 냉각 후 각 도기그릇에 4N HCl 1 ml씩 넣고 유리막대로 저어 충분히 반응시킨 후 여과하여 증류수로 100 ml를 채워 기본시료를 만들었다.

토양은 오이는 8월 22일에, 겨울 호밀은 이듬해 3월 9일에 두 구역에서 3반복씩 채취하였으며, 풍건하여 2 mm체로 통과시킨 토양 5 g에 1N Ammonium acetate(pH 7) 50 ml를 넣고 1시간 동안 shaker로 진탕한 후 여과하여 기본시료를 만들었다. 양이온이 치환된 식물체 및 토양 기본시료에서 일정량을 취해 염류별로 회석하여 원자 흡광기(Atomic absorption spectrophotometer)를 이용하

여  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Na^+$ 의 농도를 측정하였다.

#### 4) 광합성율의 측정

광합성율 측정은 오이 이식 후 21일(8월 23일), 23일(8월 25일), 25일(8월 27일) 3회에 걸쳐 실시하였으며, 휴대용 광합성 측정장치인 LAC-4(Analytical Development Company, Ltd. UK)를 이용하여 잎의 광합성율(Leaf Photosynthesis Rate : LPS)를 처리구별로 3반복으로 실시하였으며 동시에 기공전도도(Stomatal conductance : Gs)와 엽내  $CO_2$ 농도(Intercellular  $CO_2$  concentration : Ci)도 함께 측정하였다.

#### 5) 유효인산 및 질산태와 암모늄태 질소 함량의 측정

토양의 유효인산 및 질산태와 암모늄태 질소 함량의 분석도 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 유효인산 함량의 측정은 토양 5 g을 달아 삼각플라스크에 넣고, 20 ml의 침출액을 가하여, 10분간 shaking한 다음, 여과한다. 여액을 침출액으로 10배 희석하여 3 ml + 조자액 6 ml + 발색시약 0.4 ml를 시험관에 넣어 잘 혼합하여 30 °C에서 30분간 발색시킨 후 spectrophotometer로 OD 720 nm에서 흡광도를 측정하여 계산한다.

질산태와 암모늄태 질소 함량의 측정은 토양 10 g을 달아 삼각플라스크에 넣고, 50 ml의 침출액(2M-KCl)을 가하여 30분간 shaking한 다음, 여과한다. 여액 20 ml을 Kjeldahl flask에 취하여 0.2~0.3 g MgO를 넣은 후 증류장치에 고정한다. 또한, 삼각플라스크에 Boric acid 10 ml 넣어 증류장치에 고정하여 75 ml 정도 받은 후 0.005N HCl로 적정하여  $NH_4-N$  함량을 계산하였고,  $NO_3-N$  함량은 증류장치에서  $NH_4-N$  여액을 다 받은 Kjeldahl flask에 남은 시료액에 Devard alloy을 소량 첨가하여 증류장치에 고정한다. 또한, 삼각플라스크에 Boric acid 10 ml 넣어 증류장치에 고정하여 75 ml 정도 받은 후 0.005N HCl로 적정하여  $NO_3-N$  함량을 계산하였다.

## 2. 결과 및 고찰

### 1) 후작물 오이의 광합성율의 차이

표 4-18에서는 cleaning crop를 재배 후 후작물로 오이를 심었을 때, cleaning 구역과 non cleaning 구역사이의 광합성율의 차이를 나타낸 것이다. cleaning구역에서 non cleaning구역에 비해 광합성율, 기공전도도가 모두 높게 나타났으며, 또한 식물체의 노화에 의해 시일이 지나면서 두 구역 모두에서 광합성율의 감소를 나타냈다.

**Table 4-18. Changes in leaf photosynthetic rate of cucumber in non-cleaning and cleaning saline soil of the plastic film house after cleaning crop cultivation.**

Date		A <sup>1</sup>	Gs	Ci
		( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	(vpm)
01.8.23	Cleaning	29.77±0.57	2.74±0.23	257.91±2.47
	Non	26.07±0.36	1.52±0.03	249.83±2.72
01.8.25	Cleaning	26.35±0.44	2.46±0.09	252.23±2.40
	Non	25.25±0.50	1.16±0.07	248.58±6.62
01.8.27	Cleaning	24.14±0.61	2.31±0.29	225.15±0.82
	Non	22.51±0.93	1.88±0.35	231.43±2.33

<sup>1</sup>A: Leaf photosynthetic rate; Gs: Stomatal conductance  
Ci: Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

## 2) 후작물 오이의 생육특성의 차이

표 4-19에서는 cleaning crop를 재배 후 후작물로 오이를 심었을 때, cleaning 구역과 Non cleaning 구역사이의 생체중, 건물중 및 엽면적의 차이를 나타낸 것이다. Non구역에서의 건물중, 엽면적은 모두 cleaning 구역의 47%로 현저한 감소를 나타냈다. 이것은 Non cleaning 구역에서 cleaning crop를 재배하지 않아 토양에 집적된 염류에 의해 심각한 생육장애를 받은 것으로 사료된다.

**Table 4-19. Changes in fresh weight, dry weight and leaf area of cucumber in non-cleaning and cleaning saline soil of the plastic film house after cleaning crop cultivation.**

		Fresh weight	Dry weight	Leaf area
		(g)	(g)	(cm <sup>2</sup> )
Cleaning	Root	20.1±1.3	2.0±0.1	
	Stem	462.2±105.9	33.1±5.3	
	Leaf	307.8±54.4	50.7±8.1	10684.1±821.2
	Total	790.1±161.6	85.8±13.4	
Non	Root	8.2±0.4	0.8±0.1	
	Stem	200.7±44.6	16.1±2.2	
	Leaf	170.3±27.9	23.3±3.3	4999.0±234.2
	Total	379.2±72.9	40.2±5.6	

### 3) 후작물 오이 재배하였을 때 토양 염류함량의 차이

표 4-20에서는 cleaning crop를 재배 후 후작물로 오이를 심었을 때, cleaning 구역과 non cleaning 구역사이의 토양 염류함량의 차이를 나타낸 것이다. non cleaning 구역의 토양 염류  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$  함량이 각각 cleaning구역에 비해 2배, 2.6배, 3.7배, 1.5배 높게 나타났다.

**Table 4-20. Changes in salt accumulation contents according to cucumber cultivation in non-cleaning and cleaning saline soil of the plastic film house after cleaning crop cultivation.**

	( c mol/kg )			
	K	Mg	Ca	Na
Cleaning	1.90 ±0.36	0.70 ±0.24	1.47 ±0.40	0.47 ±0.18
Non	3.88 ±0.43	1.81 ±0.28	5.44 ±0.39	0.69 ±0.13

**Table 4-21. Changes in  $P_2O_5$ ,  $NO_3^-$ -N and  $NH_4^+$ -N accumulation contents according to cucumber cultivation in non-cleaning and cleaning saline soil of the plastic film house after cleaning crop cultivation.**

	(ppm)		
	$P_2O_5$ -P	$NO_3$ -N	$NH_4$ -N
Cleaning	953±66	252±55	39±4.4
Non-cleaning	1124±69	290±94	166±51

표 4-21에서는 cleaning crop를 재배 후 후작물로 오이를 심었을 때, cleaning 구역과 non cleaning 구역사이의 유효인산, 질산태 와 암모늄태 질소 함량의 차이를 나타낸 것이다. 토양 유효인산, 질산태 질소 함량은 non cleaning 구역에서 cleaning 구역보다 약간 높게 나타났지만, 암모늄태 질소 함량은 non cleaning 구역에서 cleaning 구역에 비해 4.3배로 현저하게 높게 나타났다.

#### 4) 겨울 호밀을 재배했을 때 식물체내의 염류함량의 차이

표 4-22에서는 오이 수확 후 후작물로 겨울 호밀을 심었을 때, cleaning 구역과 non cleaning 구역사이의 호밀 식물체 염류 성분 함량의 차이를 나타낸 것이다. non cleaning 구역에서 지하부, 지상부의 K<sup>+</sup> 함량은 각각 cleaning 구역의 1.3배, 1.4배로 높게 나타났지만, 다른 염류 함량들은 두 구역사이에 차이를 보이지 않았다.

**Table 4-22. Changes in salt accumulation contents according to rye cultivation in non-cleaning and cleaning saline soil of the plastic film house after cucumber cultivation.**

		% to the dry weight			
		Ca	K	Mg	Na
Cleaning	Root	0.18±0.02	2.29±0.04	0.47±0.07	0.23±0.01
	Shoot	0.39±0.02	3.18±0.02	0.13±0.00	0.21±0.01
Non-cleaning	Root	0.15±0.02	3.02±0.17	0.34±0.12	0.20±0.02
	Shoot	0.40±0.06	4.46±0.28	0.22±0.03	0.19±0.01

5) 겨울 호밀을 재배했을 때 토양의 염류함량의 차이

표 4-23에서는 오이 수확 후 후작물로 겨울 호밀을 심었을 때, cleaning 구역과 non cleaning 구역사이의 토양 염류성분 함량의 차이를 나타낸 것이다. non cleaning 구역의 염류함량이 cleaning 구역에 비해 약간 높게 나타났지만, 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 non cleaning 구역에도 오이와 호밀을 재배하여 거의 cleaning 되어 염류의 함량이 현저히 낮아지지 않았는가 사료된다.

Table 4-23. Changes in salt accumulation contents according to rye cultivation in non-cleaning and cleaning saline soil of the plastic film house after cucumber cultivation.

	( c mol/kg )			
	K	Mg	Ca	Na
Cleaning	2.07±0.23	0.82 ±0.09	2.04 ±0.55	0.66 ±0.18
Non	2.79 ±0.24	1.07 ±0.14	2.30 ±0.97	0.78 ±0.13

### 3. 결과 요약

1) 후작물 오이를 재배하였을 때, cleaning 구역에서 non cleaning 구역에 비해 광합성율, 기공전도도가 모두 높게 나타났으며, 또한 식물체의 노화에 의해 시일이 지나면서 두 구역 모두에서 광합성율의 감소를 나타냈다. 또한, non cleaning 구역에서의 건물중, 엽면적은 모두 cleaning 구역의 47%로 현저한 감소를 나타냈다.

2) 후작물 오이를 재배하였을 때, Non구역의 토양 염류  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$  함량이 각각 cleaning 구역에 비해 2배, 2.6배, 3.7배, 1.5배 높게 나타났다. 또한, 토양 유효인산, 질산태 질소 함량은 non cleaning 구역에서 cleaning 구역보다 약간 높게 나타났지만, 암모늄태 질소 함량은 non cleaning 구역에서 cleaning 구역에 비해 4.3배로 현저하게 높게 나타났다.

3) 오이 수확 후 겨울 호미를 재배하였을 때, non cleaning 구역에서 지하부, 지상부의  $K^+$  함량은 각각 cleaning 구역의 1.3배, 1.4배로 높게 나타났지만, 다른 염류 함량들은 두 구역사이에 차이를 보이지 않았다. 또한, non cleaning 구역의 염류함량이 cleaning 구역에 비해 약간 높게 나타났지만, 큰 차이를 보이지 않았다.

## 제 6절 미백찰 옥수수의 내염성 특성과 cleaning crop의 제염효과 비교

### 1. 재료 및 방법

#### 1) 식물재료 및 토양염류조건

본 실험은 시설 재배지내의 토양(미사질 식양토)에서 미백찰, 찰옥2호 옥수수를 재식거리 30 × 30 cm로, sudan grass는 재식거리 20 × 20 cm로, 20일된 이식묘를 non-saline 처리구와 염처리구에 2002년 4월 2일에 이식하였다. 염처리구는  $\text{CaCl}_2$  155.6 g/m<sup>2</sup>,  $\text{KNO}_3$  72.5 g/m<sup>2</sup>,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  13.3 g/m<sup>2</sup>,  $\text{MgCl}_2$  46 g/m<sup>2</sup>를 처리하여 염류 축적 토양을 만들었다.

#### 2) 토양 및 식물체 염류 성분 분석

식물체의 염류 성분 분석은 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 구체적인 실험 방법은 식물체의 성분분석을 위하여 건조기에서 수분이 완전히 건조된 시료를 뿌리, 줄기 및 잎으로 나누어 건물중을 측정하고 가루를 낸 다음 회분을 약 1 g정도로 취해서 도기 그릇에 넣어 630 °C에서 6시간 30분동안 전기로에서 태운다. 냉각한 다음 각 도기 그릇에 4N HCl 1ml를 넣고 유리막대기로 저어 충분히 반응한 다음 여과하여 3차 증류수를 가하여 100ml의 환저 플라스크에 정량한 다음 삼각 플라스크에 깔때기를 이용하여 여과시켜 기본시료를 만들었다. 토양의 양이온 성분분석은 각 처리구에서 3반복으로 토양을 채취하였으며, 풍건하여 2mm체로 통과시킨 토양 5g에 1N Ammonium acetate 50ml를 가하여 1시간 동안 shaker로 진탕한 후 여과하여 기본시료를 만들었다. 양이온이 치환된 식물체 및 토양 기본시료에서 일정량을 취해 염류별로 회석하여 원자 흡광기 (Atomic absorption spectrophotometer)를 이용하여 양이온의 함량을 측정하였다.

### 3) 광합성을 및 엽록소 함량의 측정

광합성을 측정은 휴대용 광합성 측정장치인 LAC-4(Analytical Development Company, Ltd. UK)를 이용하여 잎의 광합성을(A)를 non-saline 처리구와 염처리구 각각 3반복으로 실시하였으며 동시에 기공전도도(Gs)와 엽내 CO<sub>2</sub>농도(Ci)도 함께 측정하였다.

엽록소 함량의 측정은 90 % 메탄올 추출법을 이용하여 잎 2 cm<sup>2</sup>로 잘라 100% 메탄올(1급) 9ml에 넣어 암상태에서 12~24시간 추출한 다음 잎이 하얗게 된 것을 확인하고 나서 증류수 1 ml를 가하여 spectrophotometer로 OD 663 nm, OD 645 nm에서 각각 흡광도를 측정하여 엽록소의 함량을 계산하였다.

### 4) 삼투 포텐셜 측정

잎의 osmotic 포텐셜은 광합성을 측정한 잎을 갈아서 즙액을 만든 후 chamber에 0.8μl를 주입한 다음 25분 동안 안정시킨 후 수분포텐셜 측정기(HR-33T Dewpoint Microvoltmeter, INC. USA)에 연결시켜 측정하였다.

### 5) 유리 Proline 함량 측정

유리 Proline 함량의 측정은 Troll과 Lindsley법에 의한 Photometric method를 이용하였다. 지상부 생체 1.0 g을 원심분리관에 액화질소를 넣어 마쇄하였다. 마쇄용액에 MCW액(methanol : chloroform : water = 12 : 5 : 1) 10 ml를 가하여 5,000 rpm에서 4 °C, 10분간 원심분리하였다. 원심분리가 끝난 후 상등액 2 ml를 취하여 빙초산 3 ml와 ninhydrine reagent(ninhydrine : 빙초산 : 6M-phosphoric acid = 6.25 g : 150 ml : 100 ml) 3 ml를 가한후 1시간 Water bath에서 끓인 후, 상온에서 냉각 후 Toluene 5ml를 가하고 수직진탕기에서 진탕한 뒤, 하루 밤 방치 후 spectrophotometer의 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. 유리 proline의 표준곡선을 얻기 위하여 L-proline을 사용하였다

### 6) 식물체 생체중, 건물중 및 엽면적 측정

식물체들을 각 처리구에서 3반복으로 채취하여, 뿌리, 줄기, 잎으로 구분한 후

생체중을 측정하고, 60 °C에서 5일간 건조시켜 건물중을 측정하였다. 엽면적은 Leaf area meter AM100(Analytical Development Company, Ltd. UK)를 이용하여 측정하였다.

## 2. 결과 및 고찰

### 1) 미백찰 옥수수의 재배에 따른 토양 염류함량의 차이

표 4-24에서는 20일된 미백찰 옥수수 유묘를 재식거리 30 × 30 cm으로 이식 40일 후 non-saline 처리구와 saline 처리구에서 토양의 염류 축적을 나타낸 것인데, saline 처리구는 non-saline 처리구에 비해  $K^+$  함량은 4배,  $Ca^{++}$  함량은 3배,  $Mg^{++}$  함량은 5배로 훨씬 높게 나타났다. 또한 시일이 지나면서 식물체의 염류의 흡수에 의해 두 처리구 모두에서 토양의 염류함량이 감소하였다. 특히 saline soil 처리구에서 토양의  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^+$ ,  $Na^+$  함량이 이식 55일 후에는 이식 40일 후에 비해 각각 46 %, 46 %, 42 %, 59 %로 감소하였다.

### 2) 미백찰 옥수수 잎의 유리 proline 함량의 차이

표 4-25에서는 20일된 미백찰 옥수수 유묘를 재식거리 30 × 30 cm으로 이식 40일 후, 55일 후 non-saline 처리구와 saline 처리구에서 잎의 유리 proline 함량의 변화를 나타낸 것인데, saline soil 처리구에서 non-saline 처리구에 비해 이식 40일 후는 4.2배, 55일 후는 5.7배로 시일에 지나면서 훨씬 높게 나타났다. 내염성과 잎의 prolien 함량과는 정의 상관성이 있고, poroline 함량과 식물체의 발육 및 생존이 밀접한 관계가 있다고 보고하였다(Martinez et al. 1996). saline soil 처리구의 토양 염류함량이 non-saline 처리구에 비해 훨씬 높은 것은 염해에 의한 내염성의 증가로 유리 porline 함량이 증가한 것으로 사료된다.

Table 4-24. Changes in salt accumulation contents according to the different planting distance of Mibackchal corn in saline soil of the plastic film house.

Date	Soil condition	( c mol/kg )			
		K	Ca	Mg	Na
02. 05. 13	Non-saline	2.44±0.08	5.73±0.22	0.51±0.12	0.27±0.03
	Saline	8.71±1.00	11.82±1.25	2.50±0.12	0.78±0.08
02. 05. 28	Non-saline	1.86±0.14	2.09±0.08	0.32±0.03	0.21±0.06
	Saline	4.05±0.15	5.41±0.38	1.04±0.18	0.56±0.06

\*; 40 days after transplanting \*\*; 55 dsys after transplanting

Table 4-25. Changes in leaf free proline contents of Mibackchal corn according to the different non saline and saline soil condition of the plastic film house cultivation.

Date	Soil condition	Free proline (µmol/g FW,)
02. 05. 13	Non-saline	2.91±0.60
	Saline	12.12±0.71
02. 05. 28	Non-saline	3.86±0.27
	Saline	21.83±2.19

\*; 40 days after transplanting, \*\*; 55 dsys after transplanting

Table 4-26. Changes in leaf water potential and osmotic potential of Mibackchal corn according to the different non saline and saline soil condition of the plastic film house cultivation.

Date	Soil condition	Water potential(MPa)	Osmotic potential(MPa)
02. 05. 13	Non-saline	-1.47±0.11	-0.95±0.10
	Saline	-2.35±0.10	-1.66±0.14
02. 05. 28	Non-saline	-1.78±0.04	-1.12±0.16
	Saline	-2.43±0.13	-1.82±0.09

\*; 40 days after transplanting, \*\*; 55 dsys after transplanting

### 3) 미백찰 옥수수 잎의 수분, 삼투압 포텐셜의 차이

표 4-26는 20일된 미백찰 옥수수 유묘를 재식거리 30 × 30 cm으로 이식 40일 후, 55일 후 non-saline 처리구와 saline 처리구에서 재배시기에 따른 잎의 수분 포텐셜과 삼투압 포텐셜의 변화를 나타낸 것인데, 잎의 수분 포텐셜과 삼투압 포텐셜 모두 saline 처리구가 non-saline 처리구에 비해 훨씬 낮았으며, 또한 시일 지나면서 잎의 수분 포텐셜과 삼투압 포텐셜 모두가 두 처리구 모두에서 낮게 나타났다.

Table 4-27. Changes in leaf chlorophyll contents of Mibackchal corn according to the different non saline and saline soil condition of the plastic film house cultivation.

Date	Soil condition	( mg/g )		
		Chl. a	Chl. b	Chl. (a+b)
02. 05. 13	Non-saline	2.16±0.13	0.61±0.07	2.77±0.20
	Saline	2.08±0.04	0.57±0.03	2.65±0.05
02. 05. 28	Non-saline	2.14±0.22	0.55±0.07	2.69±0.28
	Saline	1.98±0.12	0.50±0.03	2.48±0.14

\*; 40 days after transplanting, \*\*; 55 dsys after transplanting

#### 4) 미백찰 옥수수 잎의 엽록소 함량의 차이

표 4-27에서는 20일된 미백찰 옥수수 유묘를 재식거리 30 × 30 cm으로 이식 40일 후, 55일 후, non-saline 처리구와 saline 처리구에서 재배시기에 따른 엽록소a, 엽록소b 및 total 엽록소 함량의 변화를 나타낸 것인데, non-saline 처리구와 saline 처리구 사이에 큰 차이가 나타나지 않았지만, non-saline 처리구에서 saline 처리구에 비해 모두 높게 나타났으며, 또한 시일이 지나면서 두 처리구 모두에서 약간의 감소를 나타냈다. 벼에서 엽록소 함량은 처리농도가 높아짐에 따라, 처리기간이 경과함에 따라 감소를 보였다고 보고하였다(Lee et al. 1992)

Table 4-28. Changes in leaf photosynthetic rate of Mibackchal corn according to the different non-saline and saline soil condition of the plastic film house cultivation.

Date	Soil condition	A <sup>1</sup> ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Gs ( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Ci (ppm)
02. 05. 13	Non-saline	36.17±1.98	0.39±0.07	99.03±13.16
	Saline	25.14±0.62	0.19±0.01	83.53±12.61
02. 05. 28	Non-saline	33.63±2.75	0.35±0.04	96.76±15.52
	Saline	15.80±0.85	0.15±0.01	103.3±16.53

<sup>1</sup>A: Leaf photosynthetic rate; Gs: Stomatal conductance

Ci: Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

\*; 40 days after transplanting

\*\*; 55 dsys after transplanting

##### 5) 잎의 광합성율의 차이

표 4-28에서는 20일된 미백찰 옥수수 유묘를 재식거리 30 × 30 cm로 이식 40일 후, 55일 후, non-saline 처리구와 saline 처리구에서 재배시기에 따른 광합성율과 기공전도도의 변화를 나타낸 것인데, saline 처리구에서 광합성율과 기공전도도는 non-saline 처리구에 비해 이식 40일 후는 각각 70 %, 49 %, 이식 55일 후는 각각 47 %, 43 %로 현저한 감소를 나타냈다. 또한 시일이 지나면서 두 처리구 모두에서 감소하는 경향이 나타났다. 수분 부족과 함께 수분 potential의 저하는 ion의 불균형 흡수 등을 유발하는 염류는 osmotic stress의 일종으로 높은 염농도에 민감한 식물체들의 호흡이나 광합성 등에 필요한 여러 생리적인 활성을 저해할 수 있다(Heuer and Nadler, 1998).

Table 4-29. Changes in mineral contents of leaf of Mibackchal corn according to the different non saline and saline soil condition of the plastic film house cultivation.

Date	Soil condition	Planting distance (cm)	% to the dry weight			
			K	Mg	Ca	Na
02.5.13*	Non-saline	30×30	4.40±0.60	0.12±0.01	0.52±0.08	0.18±0.01
	Saline	30×30	4.85±0.59	0.32±0.03	1.65±0.23	0.20±0.02
02.5.28**	Non-saline	30×30	4.53±0.26	0.15±0.02	0.84±0.11	0.18±0.02
	Saline	30×30	5.76±0.84	0.22±0.01	0.90±0.07	0.20±0.01

\*; 40 days after transplanting, \*\*; 55 dsys after transplanting

#### 6) 미백찰 옥수수잎의 염류함량의 차이

표 4-29에서는 20일된 미백찰 옥수수 유묘를 재식거리 30 × 30 cm으로 이식 40일 후, 55일 후, non-saline 처리구와 saline 처리구에서 재배시기에 따른 잎의 염류 함량의 변화를 나타낸 것인데, 이식 40일 후 saline 처리구에서 non-saline 처리구에 비해 모든 염류 함량이 높게 나타났다. 특히 K<sup>+</sup> 함량이 다른 염류함량보다 높게 나타났다. K<sup>+</sup>는 세포내에서 osmoticum으로서 사용되어 세포내 팽압을 유지시키는 역할을 하기 때문에 K<sup>+</sup>의 절대적양과 함께 조직내 다른 무기이온과 균형정도가 팽압유지 및 대사과정에 절대 중요하다고 보고하였다(Lee et al, 1998)

Table 4-30. Changes in salt accumulation contents according to the different planting distance of Mibackchal corn, Chalok-2 and sudan grass in saline soil of the plastic film house.

Date	Plant	Soil condition	Planting distance (cm)	Soil depth (cm)	Soil (c mol/kg)		
					Ca	K	Mg
02.4.8	Mibakchal corn	Saline	30×30	0	10.56±1.17	7.82±0.82	2.25±0.19
				20	5.83±0.02	4.00±0.14	0.25±0.04
		Non-saline	30×30	0	5.74±0.07	2.35±0.11	0.44±0.01
				20	5.73±0.24	2.45±0.18	0.43±0.01
	Chalok-2	Saline	30×30	0	11.69±1.13	8.00±1.06	2.66±0.09
				20	6.14±0.17	3.39±0.12	0.43±0.07
		Non-saline	30×30	0	5.75±0.18	2.64±0.22	0.37±0.06
				20	5.61±0.11	2.67±0.01	0.47±0.05
	Sudan grass	Saline	20×20	0	8.72±0.72	6.18±0.48	1.63±0.31
				20	5.18±0.03	2.97±0.19	0.43±0.00
		Non-saline	20×20	0	6.71±0.54	3.48±0.54	0.55±0.06
				20	6.18±0.10	3.18±0.11	0.52±0.11
02.6.24	Mibakchal corn	Saline	30×30	0	2.31±0.56	3.59±0.57	0.35±0.02
				20	1.07±0.18	1.59±0.27	0.26±0.05
		Non-saline	30×30	0	1.72±0.13	1.21±0.21	0.27±0.03
				20	1.42±0.15	0.94±0.24	0.18±0.01
	Chalok-2	Saline	30×30	0	2.24±0.60	3.41±0.50	0.35±0.01
				20	1.60±0.20	1.81±0.60	0.26±0.09
		Non-saline	30×30	0	2.21±0.22	1.44±0.33	0.33±0.01
				20	1.48±0.24	0.94±0.41	0.22±0.05
	Suan grass	Saline	20×20	0	2.87±0.85	3.56±0.41	0.32±0.06
				20	1.45±0.03	1.40±0.69	0.22±0.03
		Non-saline	20×20	0	1.94±0.26	1.17±0.14	0.31±0.03
				20	1.60±0.04	0.71±0.08	0.24±0.01

Table 4-31. Changes in fresh weight, dry weight and leaf area of Mibackchal corn, Chalok-2 and sudan grass in saline soil of the plastic film house.

Plant	Soil condition	Planting distance(cm)		Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )
Chalok-2	Saline	30×30	Root	60.9±10.2	12.9±2.0	
			Stem	332.5±6.6	59.8±1.6	
			Leaf	65.1±1.8	20.0±0.2	2948.7±46.0
			Total	458.5±18.5	92.7±3.8	
	Non-saline	30×30	Root	70.0±6.2	14.5±1.2	
			Stem	350.7±9.0	65.4±1.4	
			Leaf	70.5±3.3	21.1±0.4	3277.7±236.1
			Total	491.2±14.6	101.0±3.0	
Sudan grass	Saline	20×20	Root	28.4±4.1	7.6±1.2	
			Stem	154.0±25.2	30.1±4.5	
			Leaf	42.3±5.9	9.9±1.4	2163.3±299.9
			Total	224.7±35.2	47.6±7.1	
	Non-saline	20×20	Root	42.5±12.3	11.2±3.1	
			Stem	245.2±35.3	44.6±3.2	
			Leaf	68.5±17.7	16.0±3.7	3264.3±301.1
			Total	356.2±65.3	71.8±13.0	
Mibakchal corn	Saline	30×30	Root	25.3±6.5	6.9±1.7	
			Stem	272.2±25.8	50.9±5.8	
			Leaf	61.3±4.0	15.9±1.6	2465.2±242.8
			Total	358.9±36.3	73.7±9.1	
	Non-saline	30×30	Root	41.0±11.5	11.0±3.1	
			Stem	330.2±58.7	70.7±13.3	
			Leaf	83.0±9.8	23.2±3.1	3234.0±293.0
			Total	454.2±80.0	104.3±19.5	

## 7) 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass 재배 따른 토양 염류축적의 변화

표 4-30에서는 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰 옥수수, 찰옥수수 및 sudan grass의 재배에 따른 염류축적의 변화를 나타낸 것이다. saline 처리구에서 cleaning crop의 재배에 의한 토양 표토의 염류  $Ca^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{++}$  함량이 이식 후 83일째는 이식 후 6일에 비해 찰옥수수는 각각 19.2 %, 42.6 %, 13.2 %로, 미백찰 옥수수는 각각 21.9 %, 45.9 %, 15.6 %로, sudan grass는 각각 32.9 %, 57.6 %, 19.6 %로 감소함으로써, 찰옥수수가 제염효과가 제일 높게 나타났다. 두 처리구 모두에서 표토의 염류함량이 심토보다 높게 나타났다. 염류의 집적은 연작하였을 경우에 되며, 고온에 의해 수분증발로 하층의 염류가 상층으로 이동하여 표토층에 집적하게 된다고 보고하였다(Jung et al, 1994). 때문에 시설재배지 염류집적 실태를 조사하여 그에 따른 합리적인 토양관리가 필요하다.

## 8) Cleaning crop들의 생육특성의 차이

표 4-31에서는 염류집적 시설재배지에서 찰옥수수, 미백찰 옥수수 및 sudan grass 재배하였을 시, 생체중, 건물중 및 엽면적의 차이를 나타낸 것이다. 찰옥수수는 두 처리구 사이에 큰 차이를 나타내지 않았지만, 미백찰 옥수수와 sudan grass는 saline 처리구가 토양에 집적된 염류로 말미암아 건물중, 엽면적이 각각 non-saline 처리구의 71 %, 76 %와 66 %, 66 %로 현저한 감소를 나타냈다. 식물은 염해에 의해 줄기나 뿌리의 신장감소, 건물중의 감소, 엽면적의 감소 등 많은 생리적 장애현상을 나타낸다고 하였다(Evers et al, 1997; Shalhevet et al, 1995).

### 3. 결 과 요 약

1) 시설 재배지에서 미백찰 옥수수  $\text{K}^+$  처리구는 non-saline 처리구에 비해  $\text{K}^+$  함량은 4배,  $\text{Ca}^{++}$  함량은 3배,  $\text{Mg}^+$  함량은 5배로 훨씬 높게 나타났다. 또한 시일이 지나면서 식물체의 염류의 흡수에 의해 두 처리구 모두에서 토양의 염류함량이 감소하였다. 특히 saline 처리구에서 토양의  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Na}^+$  함량이 이식 55일 후에는 이식 40일 후에 비해 각각 46 %, 46 %, 42 %, 59 %로 감소하였다.

2) 시설 재배지에서 미백찰 옥수수 잎의 유리 proline 함량은, saline 처리구에서 non-saline 처리구에 비해 이식 40일 후는 4.2배, 55일 후는 5.7배로 시일에 지나면서 훨씬 높게 나타났다. 그러나, 잎의 수분 포텐셜과 삼투압 포텐셜은 모두 saline 처리구가 non-saline 처리구에 비해 훨씬 낮았다.

3) 시설 재배지에서 미백찰 옥수수 잎의 엽록소a, 엽록소b 및 total 엽록소 함량의 변화를 보면, 두 처리구 사이에 큰 차이가 나타나지 않았지만, non-saline 처리구에서 saline 처리구에 비해 모두 높게 나타났으며, 또한 시일이 지나면서 두 처리구 모두에서 약간의 감소를 나타냈다.

4) 시설 재배지에서 미백찰 옥수수 잎의 광합성율과 기공전도도는 saline 처리구가 non-saline 처리구에 비해 이식 40일 후는 각각 70 %, 49 %로, 이식 55일 후는 각각 47 %, 43 %로 현저한 감소를 나타냈다. 또한 시일이 지나면서 두 처리구 모두에서 감소하는 경향이 나타났다.

5) 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰 옥수수, 찰옥수수 및 sudan grass의 재배에 따른 염류축적의 변화를 보면, saline 처리구에서 cleaning crop의 재배에 의한 토양 표토의 염류  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  함량이 찰옥수수는 각각 19.2%, 42.6 %, 13.2 %로, 미백찰 옥수수는 각각 21.9 %, 45.9 %, 15.6 %로, sudan grass는

각각 32.9 %, 57.6 %, 19.6 %로 감소함으로서, 찰옥수수가 제염효과가 제일 높게 나타났다.

6) 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰 옥수수, 찰옥수수 및 sudan grass의 재배에 따른 생체중, 건물중 및 엽면적의 차이를 보면, 찰옥수수는 두 처리구 사이에 큰 차이를 나타내지 않았지만, 미백찰 옥수수와 sudan grass는 saline 처리구의 건물중, 엽면적이 각각 토양에 집적된 염류로 말미암아 non-saline 처리구의 71 %, 76 %와 66 %, 66 %로 현저한 감소를 나타냈다.

## 제 7절. 염류집적 중남부지역(영주) 시설 재배지에서의 Cleaning Crop에 의한 염류제거 기술개발

### 1. 재료 및 방법

#### 1) 식물재료 및 토양염류조건

본 실험은 시설 재배지내의 토양(사양토)에서 찰옥수수, 미찰백 옥수수를 재식 거리 30 × 30 cm로, sudan grass는 재식거리 20 × 20 cm로, 25일된 이식 묘를 non-saline 처리구와 염처리구에 2002년 7월 24일에 이식하였다. 염처리구는  $\text{CaCl}_2$  155.6 g/m<sup>2</sup>,  $\text{KNO}_3$  72.5 g/m<sup>2</sup>,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  13.3 g/m<sup>2</sup>,  $\text{MgCl}_2$  46 g/m<sup>2</sup>를 처리하여 염류 축적 토양을 만들었다.

#### 2) 식물체 생체중, 건물중 및 엽면적 측정

이식 후 26일(8월19일), 45일(9월7일)에 각각의 cleaning crop들의 처리구 별로 3반복씩 식물체를 채취하여 뿌리, 줄기, 잎을 구분한 후 생체중을 측정하고, 60℃에서 7일간 건조시켜 건물중을 측정하였다. 엽면적은 AREA METER(Analytical Development Company, Ltd. UK)를 이용하여 측정하였다.

#### 3) 토양 및 식물체 염류 성분 분석

토양 및 식물체의 염류 성분 분석은 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 식물체의 성분 분석은 2)에서 건조기에서 수분이 완전히 제거된 식물체를 이용하였으며, 시료를 뿌리, 줄기 및 잎으로 나누어 가루를 낸 다음 약 1g정도로 취해서 도기 그릇에 넣어 630℃에서 6시간 30분 동안 전기로에서 태워 회분을 얻었다. 냉각 후 도기 그릇에 4N HCl 1 ml를 넣고 유리막대로 저어 충분히 반응시킨 후 여과하여 3차 증류수로 100 ml를 채워 기본시료를 만들었다.

토양의 양이온 성분분석은 각각 cleaning crop들의 처리구 토층별로 3반복씩 토양을 채취하였으며, 풍건하여 2 mm체로 통과시킨 토양 5 g에 1N

Ammonium acetate 50 ml를 넣고 1시간 동안 shaker로 교반한 후 여과하여 기본시료를 만들었다. 양이온이 치환된 식물체 및 토양 기본시료에서 일정량을 취해 염류별로 희석하여 원자 흡광기(Atomic absorption spectrophotometer)를 이용하여  $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Na^+$ 의 농도를 측정하였다.

#### 4) 광합성율의 측정

광합성율 측정은 이식 후 26일(8월19일)에 실행하였으며, 휴대용 광합성 측정장치인 LAC-4(Analytical Development Company, Ltd. UK)를 이용하여 잎의 광합성율(Leaf Photosynthesis Rate : LPS)를 처리구별로 3반복으로 실시하였으며 동시에 기공전도도(Stomatal conductance : Gs)와 엽내  $CO_2$ 농도(Intercellular  $CO_2$  concentration : Ci)도 함께 측정하였다.

#### 5) 수분 포텐셜 측정

잎의 수분 포텐셜은 광합성을 측정한 잎을 punch로 지름이 5mm 인 leaf disc로 자른 후 C-52 sample(Wescor. INC. USA)에 넣은 다음 25분 동안 안정시킨 후 수분포텐셜 측정기(HR-33T Dewpoint Microvoltmeter, INC. USA)에 연결시켜 측정하였다.

#### 6) 유효인산 및 질산태와 암모늄태 질소 함량의 측정

토양의 유효인산 및 질산태와 암모늄태 질소 함량의 분석도 농업기술연구소 표준법에 준하여 실시하였다. 유효인산 함량의 측정은 토양 5 g을 달아 삼각플라스크에 넣고, 20 ml의 침출액을 가하여, 10분간 shaking한 다음, 여과한다. 여액을 침출액으로 10배 희석하여 3 ml + 조자액 6 ml + 발색시약 0.4 ml를 시험관에 넣어 잘 혼합하여 30 °C에서 30분간 발색시킨 후 spectrophotometer로 OD 720 nm에서 흡광도를 측정하여 계산한다.

질산태와 암모늄태 질소 함량의 측정은 토양 10 g을 달아 삼각플라스크에 넣고, 50 ml의 침출액(2M-KCl)을 가하여 30분간 shaking한 다음, 여과한다. 여액 20 ml을 Kjeldahl flask에 취하여 0.2~0.3 g MgO를 넣은 후 증류장치에 고정한다.

다. 또한, 삼각플라스크에 Boric acid 10 ml 넣어 증류장치에 고정하여 75 ml 정도 받은 후 0.005N HCl로 적정하여  $\text{NH}_4\text{-N}$  함량을 계산하였고,  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량은 증류장치에서  $\text{NH}_4\text{-N}$  여액을 다 받은 Kjeldahl flask에 남은 시료액에 Devard alloy을 소량 첨가하여 증류장치에 고정한다. 또한, 삼각플라스크에 Boric acid 10 ml 넣어 증류장치에 고정하여 75 ml 정도 받은 후 0.005N HCl로 적정하여  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량을 계산하였다.

## 2. 결과 및 고찰

### 1) 미백찰, 찰옥2호, sudan grass 재배 따른 토양 염류축적의 변화

표 4-32에서는 남부 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 재배에 따른 염류축적의 변화를 나타낸 것이다. 염처리에 의해 saline 처리구의 토양 염류함량이 non-saline 처리구에 비해 훨씬 높게 나타났다. saline 처리구에서 이식 후 45일(9월 7일)에서의 표토 염류함량이 cleaning crop의 염류 흡수에 의해 제염됨으로서, 이식 후 26일(8월 19일)에 비해 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass의 재배처리구의  $\text{Ca}^{++}$  함량은 각각 37 %, 25 %, 48 %로,  $\text{K}^+$  함량은 각각 55 %, 54 %, 59 %로,  $\text{Mg}^{++}$  함량은 각각 39 %, 30 %, 52 %로 감소되었다. 세 가지 cleaning crop중에서 찰옥2호가 제일 효과적 이었다. 또한 전반적으로 saline, non-saline 두 처리구 모두에서 표토의 염류함량이 심토보다 높게 나타났는데, 이는 시설재배지 특성상 강우가 없고, 고온으로 인한 수분증발에 의해 염류가 표토에 집적된 것으로 사료된다.

Table 4-32. Changes in salt accumulation contents according to the different planting distance of sudan grass, Chalok-2 and Mibackchal in saline soil of the plastic film house.

Date	Plant	Soil condition	Planting distance (cm)	Soil depth (cm)	(c mol/kg)		
					Ca	K	Mg
02.8.19	Sudan grass	Saline	20×20	0	7.17±1.06	3.33±0.45	2.27±0.34
				20	2.21±0.39	0.87±0.10	0.55±0.06
		Non-saline	20×20	0	2.07±0.09	0.65±0.08	0.48±0.01
				20	1.54±0.24	0.29±0.05	0.37±0.08
	Chalok-2	Saline	30×30	0	6.44±0.51	2.74±0.57	1.76±0.22
				20	1.84±0.13	0.70±0.13	0.53±0.07
		Non-saline	30×30	0	2.72±0.26	0.81±0.11	0.79±0.06
				20	1.51±0.08	0.32±0.05	0.37±0.02
	Mibakchal-corn	Saline	30×30	0	6.77±0.56	2.38±0.28	1.43±0.23
				20	2.31±0.32	0.64±0.09	0.49±0.07
		Non-saline	30×30	0	2.24±0.08	0.98±0.13	0.66±0.03
				20	1.74±0.28	0.60±0.18	0.58±0.05
02.9.7	Sudan grass	Saline	20×20	0	3.41±0.43	1.95±0.45	1.19±0.17
				20	1.33±0.26	0.40±0.02	0.26±0.06
		Non-saline	20×20	0	1.51±0.08	0.42±0.21	0.36±0.01
				20	1.02±0.24	0.17±0.04	0.25±0.02
	Chalok-2	Saline	30×30	0	1.59±0.36	1.49±0.10	0.53±0.08
				20	1.00±0.13	0.23±0.02	0.23±0.03
		Non-saline	30×30	0	1.41±0.17	0.54±0.33	0.38±0.03
				20	1.26±0.02	0.23±0.00	0.33±0.02
	Mibakchal-corn	Saline	30×30	0	2.53±0.41	1.21±0.16	0.56±0.16
				20	1.49±0.17	0.27±0.03	0.36±0.03
		Non-saline	30×30	0	1.49±0.06	0.67±0.10	0.39±0.04
				20	1.00±0.09	0.19±0.01	0.29±0.05

Table 4-33. Changes in leaf photosynthetic rate of sudan grass, Chalok-2 and Mibakchal corn according to the different planting distance in saline soil of the plastic film house.

	Soil condition	Planting distance(cm)	A	Gs	Ci
			( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	(ppm)
Sudan grass	Saline	20×20	19.84±2.80	0.31±0.03	152.37±7.63
	Non-saline	20×20	23.00±1.35	0.57±0.06	160.97±12.2
Chalok-2	Saline	30×30	26.30±0.86	0.48±0.05	147.52±3.98
	Non-saline	30×30	29.62±1.59	0.60±0.12	134.52±17.3
Mibakchal corn	Saline	30×30	23.39±0.33	0.35±0.01	142.60±9.00
	Non-saline	30×30	30.13±2.11	0.56±0.08	150.92±13.8

A: Leaf photosynthetic rate; Gs: Stomatal conductance

Ci: Intercellular CO<sub>2</sub> concentration

## 2) Cleaning crop들의 광합성율의 차이

표 4-33에서는 남부 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 이식 후 26일(8월 19일)에서의 각각의 cleaning crop의 광합성율의 차이를 나타낸 것이다. 세 가지 cleaning crop 모두 saline 처리구에서의 광합성율, 기공전도도가 non-saline 처리구에 비해 낮게 나타났는데, sudan grass를 재배한 saline 처리구에서의 광합성율, 기공전도도가 각각 non-saline 처리구의 86%, 54%로, 찰옥 2호를 재배한 saline 처리구에서의 광합성율, 기공전도도가 각각 non-saline 처리구의 89%, 80%로, 미백찰을 재배한 saline 처리구에서의 광합성율, 기공전도도가 각각 non-saline 처리구의 78%, 63%로 염류로 인해 많은 감소를 나타냈다.

Table 4-34. Changes in leaf water potential of sudan grass, Chalok-2 and Mibackchal corn according to the different planting distance in saline soil of the plastic film house.

	Soil condition	Planting distance(cm)	Water potential (bar)
Sudan grass	Saline	20×20	-15.55±1.83
	Non-saline	20×20	-11.62±0.67
Chalok-2	Saline	30×30	-15.82±1.42
	Non-saline	30×30	-12.62±0.33
Mibackchal corn	Saline	30×30	-13.79±1.56
	Non-saline	30×30	-10.97±0.88

### 3) Cleaning crop들의 water potential 차이

표 4-34에서는 남부 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 이식 후 26일(8월 19일)에서의 각각의 cleaning crop의 잎의 water potential 차이를 나타낸 것이다. 세 가지 cleaning crop 모두 saline 처리구에서의 water potential이 non-saline 처리구에 비해 낮게 나타났는데, sudan grass를 재배한 saline 처리구에서의 water potential은 non-saline 처리구의 1.34배로, 찰옥 2호를 재배한 saline 처리구에서의 water potential은 non-saline 처리구의 1.25배로, 미백찰을 재배한 saline 처리구에서의 water potential은 non-saline 처리구의 1.26배로 염류로 인해 많은 감소를 나타냈다.

Table 4-35. Changes in P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N accumulation contents according to the different planting distance of sudan grass Chalok-2 and Mibackchal corn in saline soil of the plastic film house.

Plant	Soil condition	Planting distance (cm)	Soil depth (cm)	(ppm)		
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Sudan grass	Saline	20×20	0	6.3±2.1	7.0±1.4	718.6±34.0
			20	2.8±0.0	4.2±0.0	561.1±51.9
	Non-saline	20×20	0	4.2±0.0	2.1±0.7	853.7±97.7
			20	2.1±0.7	2.1±0.7	613.6±3.85
Chalok-2	Saline	30×30	0	1.4±0.0	4.9±0.7	822.2±90.78
			20	1.4±0.0	1.4±0.0	626.0±73.8
	Non-saline	30×30	0	2.1±0.7	4.2±1.8	918.6±118.6
			20	1.4±0.0	2.1±0.7	757.7±85.9
Mibackchal corn	Saline	30×30	0	2.8±1.4	7.0±1.4	880.6±121.5
			20	1.4±0.0	2.8±0.0	756.0±121.5
	Non-saline	30×30	0	9.8±1.4	6.2±1.4	959.2±23.3
			20	7.8±1.5	6.2±1.2	779.6±51.0
Non-cultivation	Saline		0	221.2±2.8	767.2±243.6	1107.0±69.2
			20	84.0±19.6	120.4±14.0	684.7±2.02
	Non-saline		0	50.4±16.8	205.8±54.6	1095.1±21.5
			20	19.6±6.8	49.0±6.2	774.0±35.5

#### 4) Cleaning crop 재배에 따른 유효인산, 암모늄태와 질산태 질소 함량의 차이

표 4-35에서는 남부 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 이식 후 45일(9월 7일)에서의 각각의 cleaning crop의 재배에 따른 토양의 유효인산, 암모늄태와 질산태 질소 함량의 차이를 나타낸 것이다. cleaning crop를 재배한 구역에서 모두 cleaning crop를 재배하지 않은 non cleaning구역 훨씬 낮게 나타났다. Saline 처리구에서 표토의 암모늄태 질소 함량은 미백찰, 찰옥2호, sudan grass 재배에 의해 각각 non cleaning 구역의 1.3 %, 0.6 %, 2.8 %로 급격히 감소하였으며, 심토도 각각 1.7 %, 1.7 %, 3.3 %로 급격한 감소를 나타냈다. Non-saline 처리구에서도 표토는 각각 19.3 %, 4.2 %, 8.3 %로, 심토는 40 %, 7.1 %, 10.7 %로 많은 감소를 나타냈다. Saline 처리구에서 표토의 질산태 질소 함량은 미백찰, 찰옥2호, sudan grass 재배에 의해 각각 non cleaning 구역의 0.9 %, 0.6 %, 0.9 %로 급격히 감소하였으며, 심토도 각각 2.3 %, 1.2 %, 3.5 %로 급격한 감소를 나타냈다. Non-saline 처리구에서도 표토는 각각 3.0 %, 2.0 %, 1.0 %로, 심토는 12.7 %, 4.3 %, 4.3 %로 많은 감소를 나타냈다. Cleaning crop의 재배에 의해 토양의 암모늄태와 질산태 질소는 표토, 심토 모두에서 saline 처리구가 non-saline에 비해 감소가 훨씬 많았다. 그러나 토양의 유효인산함량은 cleaning 재배구역에서 non-cleaning 구역보다 낮게 나타났지만, 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 4-37. Changes in fresh weight, dry weight and leaf area of sudan grass, Chalok-2 and Mibackchal corn of 26 days after transplanting in saline soil of the plastic film house.

	Soil condition	Planting distance(cm)		FW. (g)	DW. (g)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	
Sudan grass	Non-saline	20×20	Root	4.6±0.1	1.7±0.0		
			Stem	46.4±4.6	2.9±0.3		
			Leaf	20.6±0.3	2.6±0.0	1034±46	
			Total	71.6±5.0	7.2±0.3		
	Saline	20×20	Root	3.8±0.5	0.6±0.1		
			Stem	20.5±0.8	1.9±0.0		
			Leaf	13.8±0.6	2.3±0.3	827±70	
			Total	38.2±1.9	4.8±0.4		
Chalok-2	Non-saline	30×30	Root	8.5±0.8	1.3±0.2		
			Stem	88.0±9.9	5.0±0.5		
			Leaf	42.3±2.0	5.7±0.6	2153±125	
			Total	138.8±10.1	11.9±1.3		
	Saline	30×30	Root	7.8±1.7	0.9±0.1		
			Stem	67.3±16.4	4.2±0.8		
			Leaf	33.9±8.1	4.4±1.1	1637±96	
			Total	109.0±25.9	9.5±1.9		
Mibackchal corn	Non-saline	30×30	Root	9.6±2.2	1.8±0.3		
			Stem	99.0±8.9	6.5±0.5		
			Leaf	57.8±6.4	7.8±0.8	2469±118	
			Total	166.4±15.7	16.1±1.3		
			30×30	Root	6.2±0.7	0.8±0.1	
				Stem	30.9±3.0	2.4±0.2	
				Leaf	22.4±2.9	3.1±0.3	1176±83
				Total	59.5±6.2	6.3±0.6	

Table 4-38. Changes in fresh weight, dry weight and leaf area of sudan grass, Chalok-2 and Mibackchal corn of 45 days after transplanting in saline soil of the plastic film house.

	Soil condition	Planting distance(cm)		FW. (g)	DW. (g)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )
Sudan grass	Non-saline	20×20	Root	23.7±1.8	4.6±0.3	
			Stem	145.1±7.2	20.0±1.0	
			Leaf	39.2±2.6	9.1±0.6	2236±186
			Total	208.0±11.6	33.7±1.9	
	Saline	20×20	Root	11.0±0.8	2.3±0.1	
			Stem	93.2±5.6	12.9±0.7	
			Leaf	17.3±0.9	4.2±0.2	1532±68
			Total	121.5±7.3	19.4±1.0	
Chalok-2	Non-saline	30×30	Root	23.8±4.3	3.7±0.7	
			Stem	168.6±2.0	22.8±0.9	
			Leaf	42.6±4.0	10.2±0.8	2757±246
			Total	234.9±10.4	36.7±1.9	
	Saline	30×30	Root	18.5±2.2	2.8±0.4	
			Stem	110.6±18.6	16.7±2.2	
			Leaf	30.8±2.1	8.0±0.4	1994±148
			Total	159.9±21.8	27.5±2.6	
Mibackchal corn	Non-saline	30×30	Root	25.8±3.6	5.4±0.9	
			Stem	210.0±18.0	39.1±4.5	
			Leaf	59.7±5.2	14.1±1.6	2643±114
			Total	295.5±25.6	58.6±6.6	
	Saline	30×30	Root	20.0±5.7	3.4±1.0	
			Stem	152.6±21.0	26.3±4.7	
			Leaf	42.1±5.6	9.7±1.5	2295±285
			Total	214.8±32.1	39.4±6.6	

## 5) Cleaning crop들의 생육특성의 차이

표 4-37에서는 중남부 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 이식 후 26일(8월 19일)에서의 각각의 cleaning crop의 생체중, 건물중 및 엽면적의 차이를 나타낸 것이다. saline 처리구에서 cleaning crop들의 건물중, 엽면적은 non-saline 처리구에 비해 낮게 나타났는데, sudan grass는 saline 처리구의 건물중, 엽면적은 각각 non-saline 처리구의 67 %, 80 %로, 찰옥2호는 saline 처리구의 건물중, 엽면적은 각각 non-saline 처리구의 80 %, 76 %로, 미백찰은 saline 처리구의 건물중, 엽면적은 각각 non-saline 처리구의 40 %, 48 %로 현저한 감소를 나타냈다.

표 4-38에서는 중남부 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 이식 후 45일(9월 7일)에서의 각각의 cleaning crop의 생체중, 건물중 및 엽면적의 차이를 나타낸 것이다. saline 처리구에서 cleaning crop들의 건물중, 엽면적은 non-saline 처리구에 비해 낮게 나타났는데, sudan grass는 saline 처리구의 건물중, 엽면적은 각각 non-saline 처리구의 58 %, 69 %로, 찰옥2호는 saline 처리구의 건물중, 엽면적은 각각 non-saline 처리구의 75 %, 72 %로, 미백찰은 saline 처리구의 건물중, 엽면적은 각각 non-saline 처리구의 67 %, 87 %로 현저한 감소를 나타냈다.

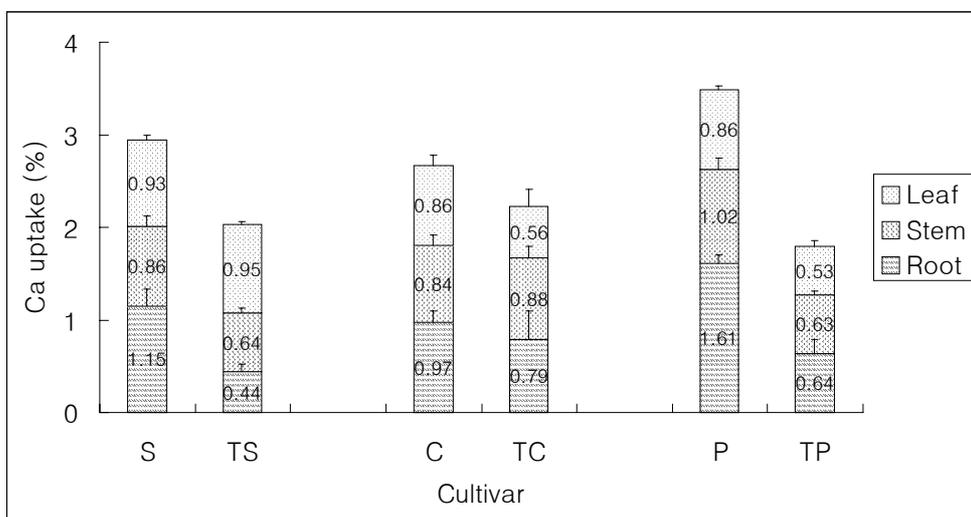


Fig. 4-9. Changes in  $\text{Ca}^{++}$  accumulation of sudan grass, Chalok-2 and Mibackchal corn of 26 days after transplanting in saline soil of the plastic film house cultivation.

(S; sudan grass grown in saline soil, TS; sudan grass grown in non-saline soil, C; Chalok-2 grown in saline soil, TC; Chalok-2 grown in non-saline soil, P; Mibackchal corn grown in saline soil, TP; Mibackchal corn grown in non-saline soil)

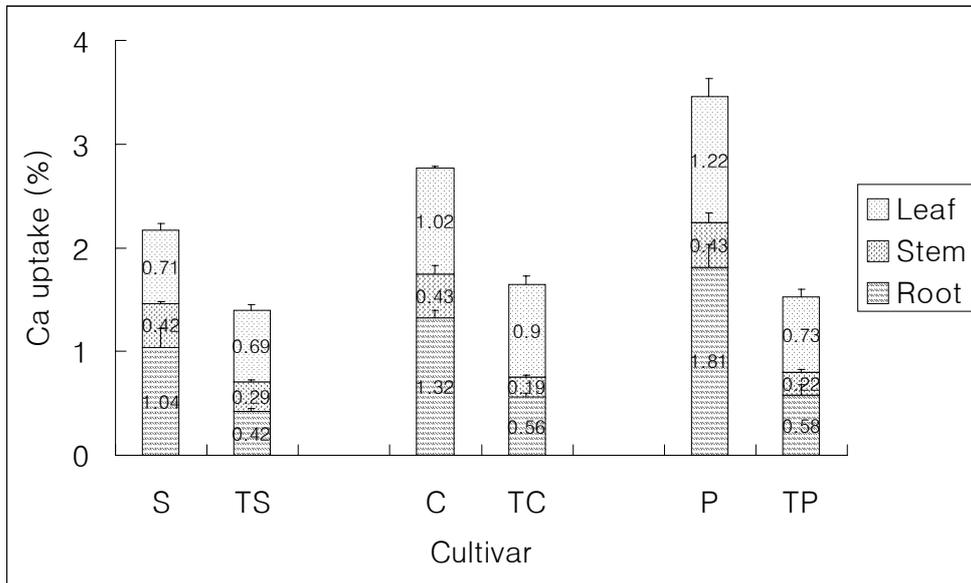


Fig. 4-10. Changes in Ca<sup>++</sup> accumulation of sudan grass, Chalok-2 and Mibackchal corn of 45 days after transplanting in saline soil of the plastic film house cultivation.

(S; sudan grass grown in saline soil, TS; sudan grass grown in non-saline soil, C; Chalok-2 grown in saline soil, TC; Chalok-2 grown in non-saline soil, P; Mibackchal corn grown in saline soil, TP; Mibackchal corn grown in non-saline soil)

## 6) Cleaning crop들의 식물체내의 염류 축적량의 차이

중남부(영주) 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 이식 후 26일(8월 19일)에서의 각각의 cleaning crop의 뿌리, 줄기, 잎의  $Ca^{++}$  함량의 차이를 보면, sudan grass 잎의  $Ca^{++}$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 뿌리, 줄기의  $Ca^{++}$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 2.6배, 1.3배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 찰옥 2호의 재배에서는 줄기의  $Ca^{++}$  함량이 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 뿌리, 잎의  $Ca^{++}$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.2배, 1.5배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 미백찰의 재배에서는 뿌리, 줄기, 잎의  $Ca^{++}$  함량이 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 2.5배, 1.6배, 1.5배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 또한 saline 처리구에서 세 cleaning crop 모두가 뿌리에서 함량이 다른 부위보다 높게 축적되었다(그림 4-9).

중남부 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 이식 후 45일(9월 7일)에서의 각각의 cleaning crop의 뿌리, 줄기, 잎의  $Ca^{++}$  함량의 차이를 보면, sudan grass 잎의  $Ca^{++}$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 뿌리, 줄기의  $Ca^{++}$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 2.5배, 1.5배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 찰옥 2호의 재배에서는 줄기의  $Ca^{++}$  함량이 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 뿌리, 잎의  $Ca^{++}$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 2.4배, 2.3배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 미백찰의 재배에서는 뿌리, 줄기, 잎의  $Ca^{++}$  함량이 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 3.1배, 2.0배, 1.7배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 또한 saline 처리구에서 세 cleaning crop 모두가 뿌리에서 함량이 다른 부위보다 훨씬 높게 축적되었다(그림 4-10).

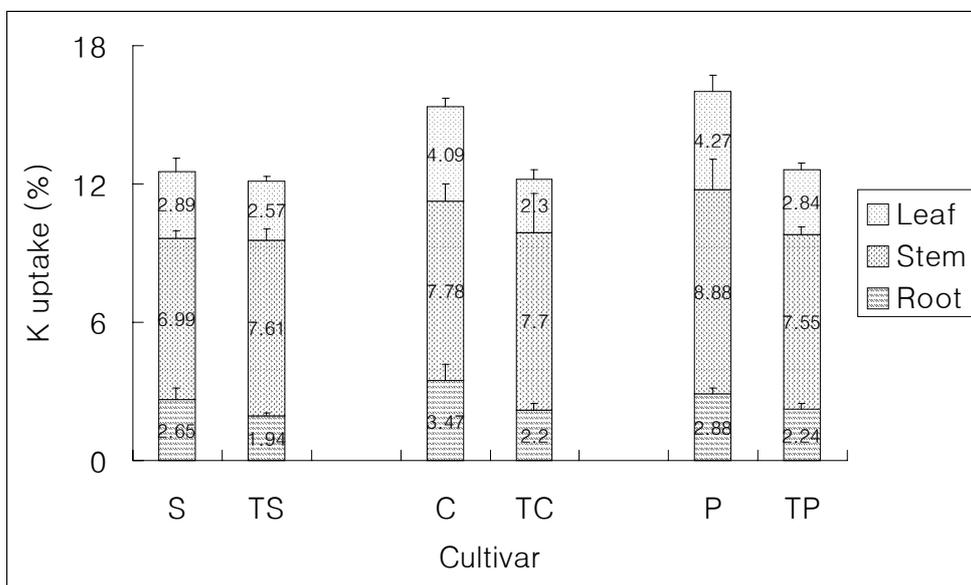


Fig. 4-11. Changes in  $K^+$  accumulation of sudan grass, Chalok-2 and Mibackchal corn of 26 days after transplanting in saline soil of the plastic film house cultivation.

(S; sudan grass grown in saline soil, TS; sudan grass grown in non-saline soil, C; Chalok-2 grown in saline soil, TC; Chalok-2 grown in non-saline soil, P; Mibackchal corn grown in saline soil, TP; Mibackchal corn grown in non-saline soil)

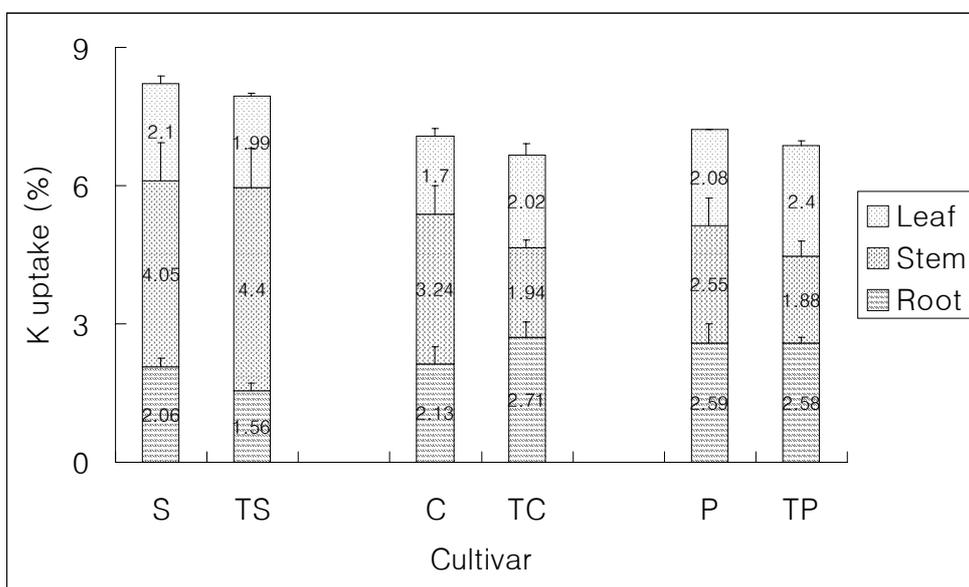


Fig. 4-12. Changes in  $K^+$  accumulation of sudan grass, Chalok-2 and Mibackchal corn of 45 days after transplanting in saline soil of the plastic film house cultivation.

(S; sudan grass grown in saline soil, TS; sudan grass grown in non-saline soil, C; Chalok-2 grown in saline soil, TC; Chalok-2 grown in non-saline soil, P; Mibackchal corn grown in saline soil, TP; Mibackchal corn grown in non-saline soil)

중남부 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 이식 후 26일(8월 19일)에서의 각각의 cleaning crop의 뿌리, 줄기, 잎의  $K^+$  함량의 차이를 보면, sudan grass 잎, 줄기의  $K^+$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 뿌리의  $K^+$  함량은 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.4배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 찰옥 2호의 재배에서는 줄기의  $K^+$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 뿌리, 잎의  $K^+$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.6배, 1.8배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 미백찰의 재배에서는 뿌리, 잎, 줄기의  $K^+$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.3배, 1.2배, 1.5배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 또한 cleaning crop 모두 두 처리구에서 줄기에서 함량이 다른 부위보다 훨씬 높게 나타났다(그림 4-11).

중남부 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 이식 후 45일(9월 7일)에서의 각각의 cleaning crop의 뿌리, 줄기, 잎의  $K^+$  함량의 차이를 보면, sudan grass 잎, 줄기의  $K^+$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 뿌리의  $K^+$  함량은 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.3배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 찰옥 2호의 재배에서는 뿌리, 잎의  $K^+$  함량은 각각 non-saline 처리구에서 saline 처리구의 1.3배, 1.2배로 높게 축적된 반면에, 줄기의  $K^+$  함량은 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.7배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 미백찰의 재배에서는 뿌리, 잎의  $K^+$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 줄기의  $K^+$  함량은 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.4배로 훨씬 높게 축적되어 있었다(그림 4-12).

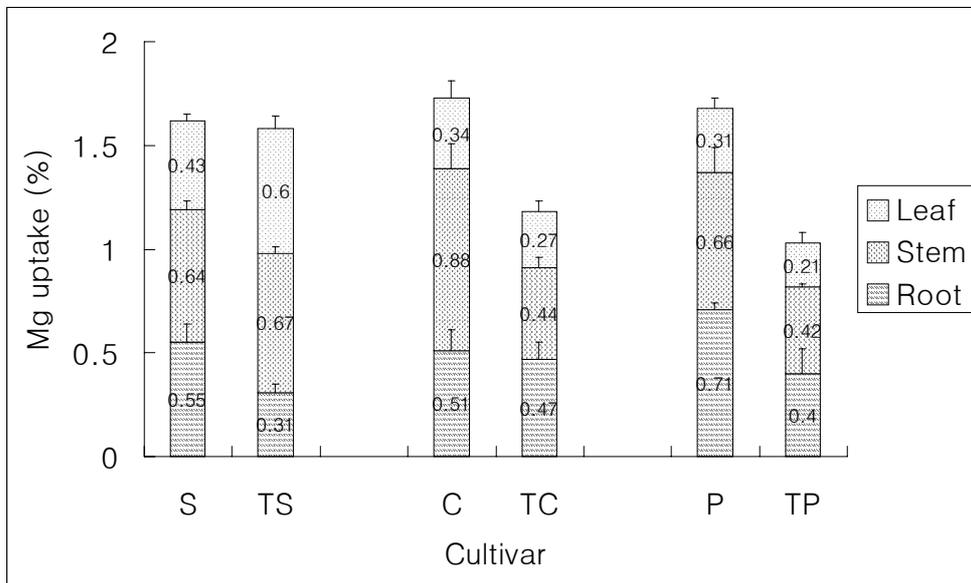


Fig. 4-13. Changes in  $Mg^{++}$  accumulation of sudan grass Chalok-2 and Mibackchal corn of 26 days after transplanting in saline soil of the plastic film house cultivation.

(S; sudan grass grown in saline soil, TS; sudan grass grown in non-saline soil, C; Chalok-2 grown in saline soil, TC; Chalok-2 grown in non-saline soil, P; Mibackchal corn grown in saline soil, TP; Mibackchal corn grown in non-saline soil)

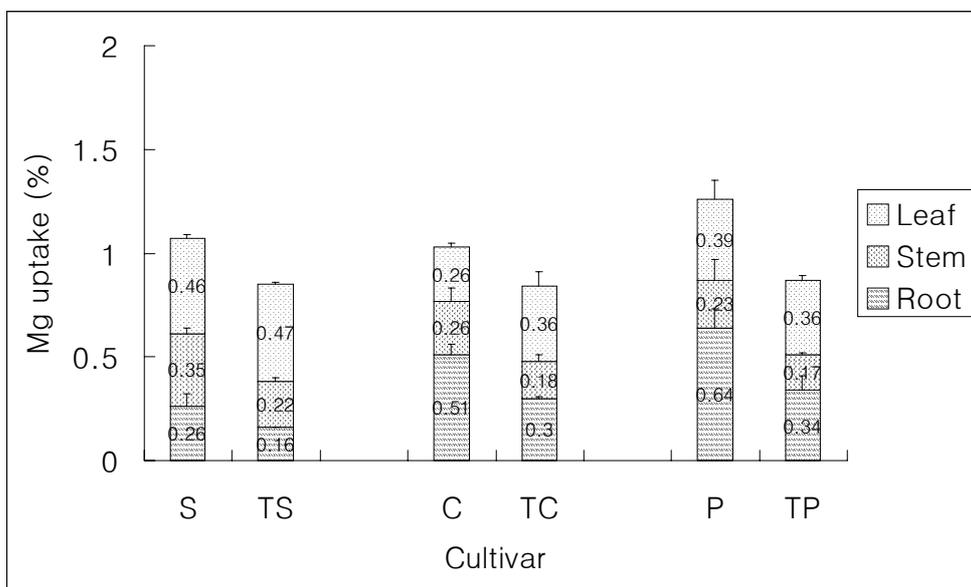


Fig. 4-14. Changes in  $Mg^{++}$  accumulation of sudan grass, Chalok-2 and Mibackchal corn of 45 days after transplanting in saline soil of the plastic film house cultivation.

(S; sudan grass grown in saline soil, TS; sudan grass grown in non-saline soil, C; Chalok-2 grown in saline soil, TC; Chalok-2 grown in non-saline soil, P; Mibackchal corn grown in saline soil, TP; Mibackchal corn grown in non-saline soil)

중남부(영주)시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 이식 후 26일(8월 19일)에서의 각각의 cleaning crop의 뿌리, 줄기, 잎의  $Mg^{++}$  함량의 차이를 보면, sudan grass 줄기의  $Mg^{++}$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 뿌리, 잎의  $Mg^{++}$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.8배, 1.4배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 찰옥 2호의 재배에서는 뿌리의  $Mg^{++}$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 줄기, 잎의  $Mg^{++}$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 2배, 1.3배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 미백찰의 재배에서는 뿌리, 줄기, 잎의  $Mg^{++}$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.5배, 1.6배, 1.8배로 훨씬 높게 축적되어 있었다(그림 4-13).

중남부(영주) 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass를 이식 후 45일(9월 7일)에서의 각각의 cleaning crop의 뿌리, 줄기, 잎의  $Mg^{++}$  함량의 차이를 보면, sudan grass 잎의  $Mg^{++}$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 뿌리, 줄기의  $Mg^{++}$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.6배, 1.6배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 찰옥 2호의 재배에서는 잎의  $Mg^{++}$  함량은 non-saline 처리구에서 saline 처리구의 1.4배로 높게 축적된 반면에, 뿌리, 줄기의  $Mg^{++}$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.4배, 1.7배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 미백찰의 재배에서는 sudan grass와 마찬가지로 잎의  $Mg^{++}$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 뿌리, 줄기의  $Ca^{++}$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.4배, 1.8배로 훨씬 높게 축적되어 있었다(그림 4-14).

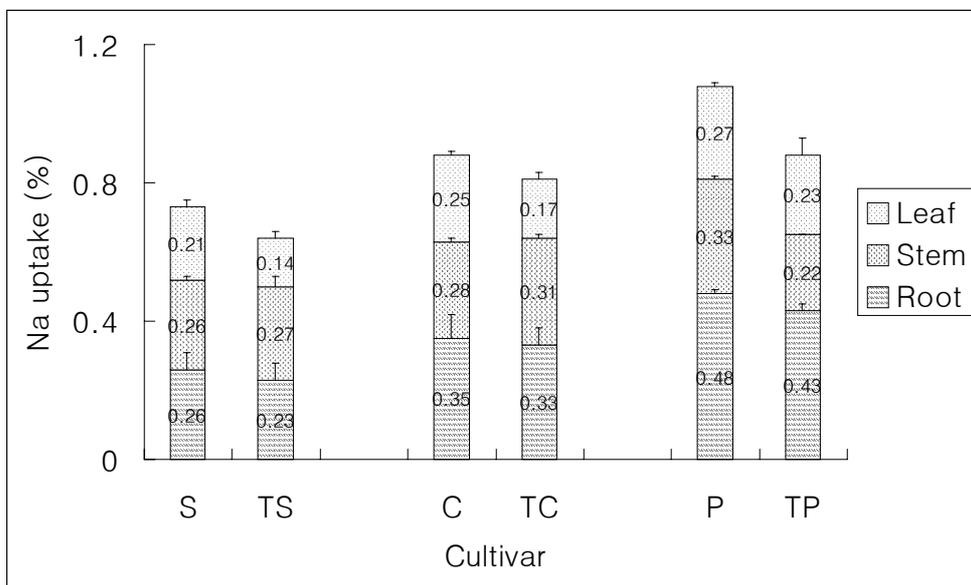


Fig. 4-15. Changes in Na<sup>+</sup> accumulation of sudan grass, Chalok-2 and Mibackchal corn of 26 days after transplanting in saline soil of the plastic film house cultivation.

(S; sudan grass grown in saline soil, TS; sudan grass grown in non-saline soil, C; Chalok-2 grown in saline soil, TC; Chalok-2 grown in non-saline soil, P; Mibackchal corn grown in saline soil, TP; Mibackchal corn grown in non-saline soil)

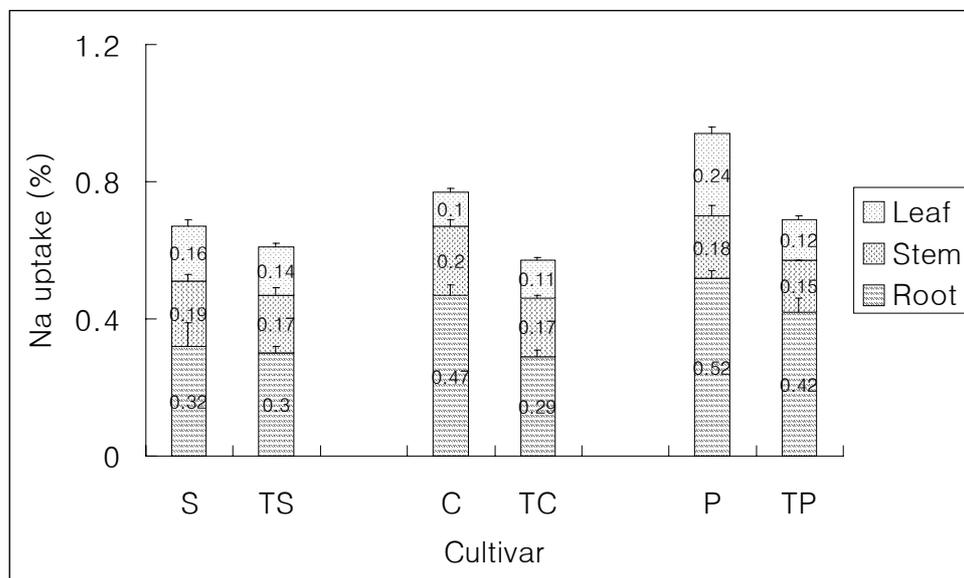


Fig. 4-16. Changes in Na<sup>+</sup> accumulation of sudan grass, Chalok-2 and Mibackchal corn of 45 days after transplanting in saline soil of the plastic film house cultivation.

(S; sudan grass grown in saline soil, TS; sudan grass grown in non-saline soil, C; Chalok-2 grown in saline soil, TC; Chalok-2 grown in non-saline soil, P; Mibackchal corn grown in saline soil, TP; Mibackchal corn grown in non-saline soil)

중남부(영주) 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass 를 이식 후 26일(8월 19일)에서의 각각의 cleaning crop의 뿌리, 줄기, 잎의  $\text{Na}^+$  함량의 차이를 보면, sudan grass 뿌리, 줄기의  $\text{Na}^+$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 잎의  $\text{Na}^+$  함량은 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.5배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 찰옥 2호의 재배에서는 sudan grass와 마찬가지로 뿌리, 줄기의  $\text{Na}^+$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 잎의  $\text{Na}^+$  함량은 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.5배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 미백찰의 재배에서는 뿌리의  $\text{Na}^+$  함량은 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 줄기, 잎의  $\text{Na}^+$  함량이 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.2배, 1.5배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 또한 saline 처리구에서 세 cleaning crop 모두가 뿌리에서 함량이 다른 부위보다 높게 축적되었다(그림 4-15).

중남부(영주) 시설재배지 염류집적 토양에서 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass 를 이식 후 45일(9월 7일)에서의 각각의 cleaning crop의 뿌리, 줄기, 잎의  $\text{Na}^+$  함량의 차이를 보면, sudan grass 잎, 뿌리, 줄기의  $\text{Na}^+$  함량은 모두 saline 처리구에서 non-saline 처리구에 비해 약간 높게 축적되어 있었다. 찰옥 2호의 재배에서는 잎의  $\text{Na}^+$  함량이 두 처리구 사이에 차이를 보이지 않았지만, 뿌리, 줄기의  $\text{Na}^+$  함량은 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.6배, 1.2배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 미백찰의 재배에서는 뿌리, 줄기, 잎의  $\text{Na}^+$  함량이 각각 saline 처리구에서 non-saline 처리구의 1.2배, 1.2배, 2배로 훨씬 높게 축적되어 있었다. 또한 saline 처리구에서 세 cleaning crop 모두가 뿌리에서 함량이 다른 부위보다 높게 축적되었다(그림 4-16).

Table 4-39. 후작물 배추의 생체중, 건물중.

	Soil condition	Planting distance(cm)		FW. (g)	DW. (g)
Sudan grass	Non-saline	20×20	Root	4.7±0.3	0.7±0.0
			Leaf	391.7±61.6	23.0±2.7
			Total	396.4±61.9	23.7±2.7
	Saline	20×20	Root	3.2±0.5	0.4±0.1
			Leaf	239.2±33.1	13.8±1.9
			Total	242.3±33.5	14.2±2.0
Chalok-2	Non-saline	30×30	Root	4.8±0.5	0.8±0.1
			Leaf	365.7±47.2	21.0±2.4
			Total	370.5±47.7	21.8±2.5
	Saline	30×30	Root	4.6±0.2	0.7±0.0
			Leaf	377.5±22.5	22.2±1.5
			Total	382.1±22.7	22.9±1.5
Mibakchal- corn	Non-saline	30×30	Root	4.9±1.4	0.7±0.1
			Leaf	358.0±74.2	19.7±4.3
			Total	362.9±75.5	20.5±4.5
	Saline	30×30	Root	4.2±0.6	0.5±0.1
			Leaf	339.2±38.1	19.1±2.1
			Total	343.4±38.7	19.6±2.2
Non-cleaning	Non-saline		Root	4.5±1.0	0.7±0.1
			Leaf	325.8±34.4	18.0±1.3
			Total	330.4±35.4	18.7±1.4
	Saline		Root	-	-
			Leaf	-	-
			Total	-	-

Table 4-40. 호밀 생체중과 건물중 차이.

	Soil condition	Planting distance(cm)		Fresh weight(g)	Dry weight(g)
Sudan grass	Non- saline	20×20	Root	4.3±0.14	1.23±0.04
			Stem	21.2±1.10	2.30±0.14
			Leaf	17.4±0.53	2.51±0.15
			Total	42.9±1.77	6.03±0.33
	Saline	20×20	Root	3.0±0.14	1.0±0.04
			Stem	16.1±1.10	1.62±0.14
			Leaf	14.4±0.53	1.52±0.15
			Total	33.5±1.77	4.14±0.33
Chalok-2	Non- saline	30×30	Root	3.6±0.84	1.1±0.14
			Stem	21.9±1.81	2.31±0.71
			Leaf	21.0±0.60	2.34±0.28
			Total	46.5±3.26	5.37±1.03
	Saline	30×30	Root	3.8±0.14	1.12±0.03
			Stem	23.5±1.09	2.45±0.14
			Leaf	22.6±0.48	2.84±0.13
			Total	49.9±1.71	6.41±0.29
Mibakchal- corn	Non- saline	30×30	Root	3.4±0.37	1.11±0.28
			Stem	21.2±2.01	2.30±0.35
			Leaf	15.3±0.94	2.32±0.18
			Total	39.9±3.32	5.73±0.71
	Saline	30×30	Root	3.5±0.25	1.11±0.13
			Stem	20.6±1.23	2.21±0.48
			Leaf	16.5±0.56	2.41±0.18
			Total	40.6±2.04	5.73±0.79
Non- cleaning	Non- saline		Root	4.5±0.74	1.31±0.28
			Stem	22.3±3.25	2.41±0.37
			Leaf	19.6±0.98	2.72±0.24
			Total	46.4±4.97	6.43±0.90
	Saline		Root	-	-
			Stem	-	-
			Leaf	-	-
			Total	-	-

## 7) 후작물 배추의 생체중과 건물중의 차이

표 4-39에서는 중남부 염류집적 시설재배지에서 cleaning crop인 sudan grass, 찰옥2호 및 미백찰을 재배 후, 후작물인 배추의 생체중과 건물중의 차이를 나타낸 것이다. 찰옥2호와 미백찰을 재배한 non-saline 처리구와 saline 처리구 사이에는 차이를 보이지 않았는데, 이것은 염류토양의 염류가 cleaning되어 non-saline 처리구와 비슷하게 되었을 수 있다. 그러나 Sudan grass를 재배한 두 처리구 사이에서는 saline 처리구에서 non-saline 처리구보다 낮게 나타났는데, 이것은 sudan grass가 염류토양의 제염효과가 제일 낮음으로서, 다른 구역보다 잔류한 염류가 높은 것과 상관된다고 사료된다. Cleaning crop를 재배하지 않은 saline 처리구는 높은 염류로 배추가 고사되었다. Saline 처리구에서는 찰옥 2호를 재배한 구역에서 제일 높게 나타났는데, 이것은 찰옥 2호가 염류토양 제염효과가 제일 좋았던 것과 상관된다고 사료된다.

## 8) 겨울 호밀의 생체중과 건물중의 차이

표 4-40에서는 중남부 염류집적 시설재배지에서 cleaning crop인 sudan grass, 찰옥2호 및 미백찰을 재배 후, 후작물인 배추를 수확 후, 겨울 호밀을 재배하였을 때, 생체중과 건물중의 차이를 나타낸 것이다. Sudan grass를 재배한 두 처리구 사이에서는 saline 처리구에서 non-saline 처리구보다 낮게 나타났지만, 찰옥2호와 미백찰을 재배한 non-saline 와 saline 처리구 사이에 차이가 나타나지 않았다. 이것은 sudan grass가 재배한 구역에서 다른 구역보다 잔류한 염류가 높은 것과 상관된다고 사료된다. Saline 처리구에서는 찰옥 2호를 재배한 구역에서 제일 높게 나타났는데, 이것은 찰옥 2호가 토양 제염효과가 제일 좋았던 것과 상관된다고 사료된다. Cleaning crop를 재배하지 않은 saline 처리구는 높은 염류로 종자가 발아하지 않았다.

### 3. 결 과 요 약

1) Saline 처리구에서 이식 후 45일(9월 7일)에서의 표토 염류함량이 cleaning crop의 염류 흡수에 의해 제염됨으로서, 이식 후 26일(8월 19일)에 비해 미백찰, 찰옥2호 및 sudan grass의 재배처리구의  $Ca^{++}$  함량은 각각 37 %, 25 %, 48 %로,  $K^{+}$  함량은 각각 55 %, 54 %, 59 %로,  $Mg^{++}$  함량은 각각 39 %, 30 %, 52 %로 감소되었다. 세 가지 cleaning crop중에서 찰옥2호가 제일 효과적 이었다.

2) Sudan grass를 재배한 saline 처리구에서의 광합성율, 기공전도도가 각각 non-saline 처리구의 86 %, 54 %로, 찰옥 2호를 재배한 saline 처리구에서의 광합성율, 기공전도도가 각각 non-saline 처리구의 89 %, 80 %로, 미백찰을 재배한 saline 처리구에서의 광합성율, 기공전도도가 각각 non-saline 처리구의 78 %, 63 %로 염류로 인해 많은 감소를 나타냈다.

3) Sudan grass를 재배한 saline 처리구에서는 water potential이 non-saline 처리구의 1.34배로, 찰옥 2호를 재배한 saline 처리구에서는 non-saline 처리구의 1.25배로, 미백찰을 재배한 saline 처리구에서는 non-saline 처리구의 1.26배로 염류로 인해 많은 감소를 나타냈다.

4) Cleaning crop의 재배에 따른 토양의 유효인산, 암모늄태와 질산태 질소 함량의 차이를 보면, 표토와 심토 모두에서 암모늄태와 질산태 질소 함량이 cleaning crop들의 많은 흡수에 의해 cleaning crop를 재배한 구역에서 모두 cleaning crop를 재배하지 않은 non-cleaning 구역에 비해 훨씬 낮게 나타났다. cleaning crop를 재배한 구역에서 찰옥 2호를 재배한 구역에서 암모늄태와 질산태 질소 함량이 다른 구역 보다 낮게 나타났다. 그러나 토양의 유효인산 함량은 cleaning 재배한 구역에서 재배하지 않은 non-cleaning 구역에 비해 낮게 나타났지만, 큰 차이를 보이지 않았다.

5) Cleaning crop들의 생육특성을 보면, 세 가지 모두 saline 처리구에서 non-saline 처리구보다 건물중, 엽면적이 많이 감소함으로서 생육장해를 나타냈다. 시일이 지나면서 saline 처리구에서 sudan grass와 찰옥 2호는 non-saline 처리구에 비해 감소를 나타내는 반면에, 미백찰 옥수수에는 증가를 나타냈다.

6) Cleaning crop들의 식물체내의 염류함량의 차이를 보면, 세 가지 모두 saline 처리구에서 non-saline 처리구보다 높게 나타났으며, 세 가지 cleaning crop 사이에는 차이가 보이지 않았다. 식물체내의  $K^+$  함량이 다른 염류보다 높게 나타났지만, 시일이 지나면서 감소를 나타냈다.

7) Cleaning crop를 재배한 후, 배추를 재배하였을 때, 배추의 생체중과 건물중의 차이를 보면, 찰옥2호와 미백찰을 재배한 non-saline 처리구와 saline 처리구 사이에는 차이를 보이지 않았지만, sudan grass를 재배한 구역에서는 saline 처리구에서 non-saline 처리구 보다 낮게 나타났다. Cleaning crop를 재배하지 않은 saline 처리구는 높은 염류로 배추가 고사되었다. Saline 처리구에서는 찰옥 2호를 재배한 구역에서 제일 높게 나타났다.

8) 배추를 수확 후, 겨울 호밀을 재배하였을 때, 생체중과 건물중의 차이를 보면, 찰옥2호와 미백찰은 non-saline 처리구와 saline 처리구 사이에 차이가 보이지 않았지만, sudan grass는 saline 처리구에서 non-saline 처리구 보다 낮게 나타났다. Cleaning crop를 재배하지 않은 saline 처리구는 높은 염류로 호밀은 발아하지 않았다. Saline 처리구에서는 찰옥 2호를 재배한 구역에서 제일 높게 나타난 반면에, sudan grass 재배한 구역에서 제일 낮게 나타났다.

## 인 용 문 헌

### 제 2 장

1. Abou-Hadid. A.F. 1992. Protected cultivation for tomato under salt affected soils. *Acta Hort.* 323: 443-449.
2. Balibrea M.E., E. Cayuela, F. Artes and F. perz-Alfocea. 1997. Salinity effects on some postharvest quality factors in a commercial tomato hybrid. *J. Hort. Sci.* 72:885-892.
3. Beatriz G, Neves-Piestun and Nirit Bernsten. 2001. Salinity-induced inhibition of leaf elongation in maize is not mediated by changes in cell wall acidification capacity. *Plant Physiol* 125: 1419-1428.
4. Choi W.Y., J.H. Park and Y.W. Kwon. 1997a. Physiological response of barley to salt stress at reproductive stage. *Korean J. Crop Sci.* 42(6) : 687-692.
5. Evlagon D., I. Ravina and P.M. Neumann. 1992. Effects of salinity stress and calcium on hydraulic conductivity and growth in maize seedling roots. *J. Plant Nutr.* 15: 795-803.
6. Frensch J. and T.C. Hsiao. 1994. Transient responses of cell turgor and growth of maize roots as affected by changes in water potential. *Plant Physiol.* 104: 247-254.
7. Hanson A.D., C.E.M. Nalsen, A.R. Pedersen and E.H. Everson. 1979. Capacity for porline accumulation during water stress in barley and its implication for drought resistance. *Crop Sci.* 19: 489-493.
8. Heuer B. and Nadler A. 1998. Physiological response of potato plants to soil salinity and water deficit. *Plant Sci.* 137: 43-51.

9. Huber W., P.N. Rustagl. and N. Sankhia. 1974. Effect of sodium chloride and gibberelins on the activity of the enzyme of carbohydrate metabolism in leaves of pennisetum typhoides. Eco-physiological studies on indian arid zone plants. Bot. 77-84.
10. James R.D. and M.L. Binzel. 1996. NaCl reduces indol-3-acetic acid levels in the roots of tomato plants independent of stress-induced abscisic acid. Plant Physiol. 112: 379-384.
11. Katsuhiko W., H. Tadashi and I. Kuni. 1996. Analysis of photosynthesis depression under low leaf water potential by comparison of CO<sub>2</sub> exchange and O<sub>2</sub> Evolution rates. J. J. Crop Sci. 65(4): 590-598.
12. Lee H.K. and J.H. Hong. 2000. Proline accumulation in vigna angularis seedlings under salt stress. Bulletin of the Korean Environmental Sciences Society. 4(1): 51-57.
13. Lee K.S., J.S. Lee and S.Y. Choi. 1992. Changes in contents of chlorophyll and free proline as affected by NaCl in rice seedling. Korean J. Crop Sci. 37(2): 178-184.
14. Lee S.G., J.S. Shin, Y.S. Seok and G.K. Bae. 1998. Effects of salt stress on photosynthesis, free proline content and ion content in tobacco. Korean Journal of Environmental Agriculture. 17(3): 215-219.
15. Lutts S., J.M. Kinet and J. Bouharmont. 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. J. Exper. Bot. 46(293): 1843-1852.
16. Marschner. Horst. 1986. Mineral nutrition in higher plants. Academic Press Inc. Ltd. London. PP: 674.
17. Megel K. and E. A. Kirkby. 1978. 'In principles of Plant Nutrition', International Potash Institute. Switzerland. 193-210.
18. Michael, C.S., M.G. Catherine and E.F. Leland. 1994. Whole-plant response to salinity. In R.E. Wilkison(ed.) Plant-environment interaction. Marcel

Dekker, Inc. New York. pp199-244.

19. Mohammad P. 1994. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker press, New York. p. 235-250.
20. Neumann P.M., H. Azaizeh and D. Leon. 1994. Hardening of roots cell walls: a growth inhibitory response to salinity stress. *Plant Cell Environ* 16: 15-24.
21. Shalhevet J., M.G. Huck and B.P. Shroeder. 1995. Root and shoot growth responses to salinity in maize and soybean. *Agron. J.* 87: 512-516.
22. Singh T.N., D. Aspinall and L.G. Paleg. 1972. *Nature New Biol.* 236: 188.
23. Troll W. and J. Linsely. 1955. A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.* 215: 655-660.
24. Volkmar K.M., Y. Hu and H. Steppuhn. 1998. Physiological response of plant to salinity: A review. *Can. J. Plant Sci.* 78:19-27.
25. Xiaomu Niu, A.B. Ray., M.H. Paul. and M.P. Jose. 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiol.* 109: 735-742.
26. Xu H. L., L. Gauthier and A. Gosselin. 1994. Photosynthetic responses of greenhouse tomato plants to high solution electrical conductivity and low soil water content. *J. Hortic. Sci.* 69: 821-832.
27. Zidan I, Azaizeh H, Neumanu P.M. 1990. Does salinity reduce growth in maize root epidermal cells by inhibiting their capacity for cell wall acidification? *Plant Physiol.* 93: 7-11.
28. Zhong H. and Lauchli A. 1994. Spatial distribution of solutes, K, Na, Ca and their deposition rates in the growth zone of primary cotton roots: effects of NaCl and CaCl<sub>2</sub>. *Planta.* 194: 34-41.

### 제 3 장

1. Blits K.C. and J.L. Gallagher. 1990. Salinity tolerance of *Kosteletzkya virginica* L. Shoot growth, ion and water relations. *Plant Cell and Environment* 13: 409-418.
2. Choi W.Y., J.H. Park and Y.W. Kwon. 1997a. Physiological response of barley to salt stress at reproductive stage. *Korean J. Crop Sci.* 42(6) : 687-692.
3. Choi W.Y., J.H. Park and Y.W. Kwon. 1997a. Physiological response of barley to salt stress at reproductive stage. *Korean J. Crop Sci.* 42(6) : 687-692.
4. Choi W.Y. 1997b. Physiological response of barley to water stress and salt stress at seeding stage. *Korean J. Crop Sci.* 42(6) : 693-698.
5. Evers D., C. Schmit, Y. Mailliet and F. Hausman. 1997. Growth characteristics and biochemical changes of poplar shoot in vitro under sodium chloride stress. *J. Plant Physiol.* 151: 748-753.
6. Fageria N.K. 1985. Salt tolerance of rice cultivars. *Plant and Soil* 88: 237-243.
7. Heuer B. and Nadler A. 1998. Physiological response of potato plants to soil salinity and water deficit. *Plant Sci.* 137: 43-51.
8. Jain S, H.S. Nainawatee, R.K. Jain and J.B. Chowdhury. 1991. Proline status of genetically stable salt-tolerant. *Brassica juncea* L. somaclones and their parent cv. Prakash. *Plant Cell Rep.* 9: 684-687.
9. Kown T., T. Abe and T. Sasahara. 1995. Enhanced saline stress resistance in threonine and methionine overproducing mutant cell line from protoplast culture of rice (*Oryza sativa* L.) *J. Plant Physiol.* 145 : 551-556.
10. Lee S.G., J.S. Shin, Y.S. Seok and G.K. Bae. 1998. Effects of salt stress

on photosynthesis, free proline content and ion content in tobacco. Korean Journal of Environmental Agriculture. 17(3): 215-219.

11. Marschner. Horst. 1986. Mineral nutrition in higher plants. Academic Press Inc. Ltd. London. PP: 674.
12. Mass E.V. and G.J. Hoffman. 1977. crop salt tolerance-Curren assessment Proc. Of ASCE. J. of Trrig. And Drain. Div. 103(IR2): 115-134.
13. Moftah A.E. and B.E. Michel. 1987. The effects of sodium chloride on solute potential and proline accumulation in soybean leaves. Plant Physiol. 83: 238-240.
14. Ponnampereuma F.N. 1984. Role of cultivar tolerance in increasing rice production on saline lands. In Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement, John Wiley & Sons. pp. 255-271.
15. Rosen A. and M. Tal. 1981. Salt tolerant wild relatives of the cultivated tomato: Responses of naked protoplast isolated from leaves of *Lycopersicon esculentum* and *L. peruvianum* to NaCl and proline. Z. Pflanzenphysiol. Bd. 102: 91-94.
16. Shalhevet J., M.G. Huck and B.P. Shroeder. 1995. Root and shoot growth responses to salinity in maize and soybean. Agron. J. 87: 512-516.
17. Sharma P.K. and D.O. Hall. 1991. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. Plant Physiol. 138: 614-619.
18. Xu H. L., L. Gauthier and A. Gosselin. 1994. Photosynthetic responses of greenhouse tomato plants to high solution electrical conductivity and low soil water content. J. Hortic. Sci. 69: 821-832.
19. Yancey P.H., M.E. Clark, S.C. Hand, R.D. Bowlus and G.N. Somero. 1982. Living with water stress: Evolution of osmolyte system. Science. 217 : 1214-1222.

#### 제 4 장

1. 조수현, 안문섭. 1998. 시설재배지 염류집적 토양에서의 염류제거. 시험연구보고서. 강원도농촌진흥원. pp.669-672.
2. 최우영. 1996. 시설재배지 염류집적 토양의 개량을 위한 흡착제-미생물 복합제의 개발. 연차보고서. 현장애로기술개발사업. 농림수산기술관리센터. pp.239-240.
3. Evers D., C. Schmit, Y. Mailliet and F. Hausman. 1997. Growth characteristics and biochemical changes of poplar shoot in vitro under sodium chloride stress. J. Plant Physiol. 151: 748-753.
4. Quin. B.F. and L.J. Forsithe. 1978, Surface irrigation of pasture with treated sewage effluents. II. Drainage losses of nitrate and other nutrients. J. Agric. Res. 21: 427-434.
5. Gregorio G.B. and D. Senadhira. 1993. Genetic analysis of salinity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). Theo. Appl. Genet. 86: 333-338.
6. Ha, H.S., H.L. Yang, H. Lee, Y.B. Lee, B.K. Sohn and U.G. Kang. 1997. Soil chemical properties and plant mineral contents in plastic film house in southern part of korea. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 30(4): 345-350.
8. Heuer B. and Nadler A. 1998. Physiological response of potato plants to soil salinity and water deficit. Plant Sci. 137: 43-51.
7. Hwang K.S., D.C. Noh and Q.S. Ho. 1998. Survey on the greenhouse flower soil chemicophysical properties and amount of fertilizer and soil amendment applications. J. Kor. Envir,Agri. 17: 132-135.
9. 황선웅, 김유섭, 연병렬, 이용재, 박용대. 1993. 몇 가지 제염방법에 의한 비닐 하우스 내 토양의 염류 제거 효과. 농업과학 논문집 35(1): 276-280.
10. Jung, G.B., I.S. Ryu and B.Y. Kim. 1994. Soil Texture , Electrical Conductivity and Chemical Components of Soils under the Plastic Film House Cultivation in Northern Central Areas of Korea. J. Korean Soc.

Soil Sci. Fert. 27(1): 33-39.

11. 김충수, 김량식. 1984. 몇 가지 사료작물의 내염성에 관한 연구. 충남대학교 농업기술 연구보고. 11(2): 183-189.
12. Kim, P.J., D.K. Lee and D.Y. Chung. 1997. Vertical Distribution of Bulk Density and salts in a Plastic Film House Soil. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 30(3): 226-233.
13. Kumar D.B., T.N. Singh and R.K. Singh. 1983. Salt tolerance in wheat varieties. SABRAO J. 15(1): 71-76.
14. 이상은, 이춘수. 1994. 염류가 집적된 시설재배 토양에서 질소와 칼리의 시비효과 및 양분수지. 한국비료학회지. 27(2): 78-84.
15. Lee K.S., J.S. Lee and S.Y. Choi. 1992. Changes in contents of chlorophyll and free proline as affected by NaCl in rice seedling. Korean J. Crop Sci. 37(2): 178-184.
16. Lee, K.S. and Senadhira. 1996. Salinity tolerance in japonica rice (*Oryza sativa* L.). SABRAO J. 28(1): 11-17.
17. Lee S.G., J.S. Shin, Y.S. Seok and G.K. Bae. 1998. Effects of salt stress on photosynthesis, free proline content and ion content in tobacco. Korean Journal of Environmental Agriculture. 17(3): 215-219.
18. 임경빈, 김동암, 서성, 송희복, 이효원, 임용규, 황종서. 1981. 간척지 초지조성에 관한 연구. 1. 목초의 내염성 비교. 한국축산학회지. 23(1): 30-40.
19. 임경빈, 김동암, 한왕범, 송희복, 권찬호, 신재두, 황종서. 1984. 간척지 초지조성에 관한 연구. 2. 내염성 목초의 초종 및 품종선정. 한국축산학회지. 26(5): 474-482.
20. MAF (Ministry of Agriculture and Forestry, Korea). 1981-1999. Statistical yearbook of agriculture and forestry. Republic of Korea.
21. Martinez C.K., M. Maestri and E.G. Lani. 1996. In vitro salt tolerance

and proline accumulation in Andean potato(*Solanum* Spp.) differing in frost resistance. *Plant Sci.* 166: 177-184.

22. 농업기술연구소. 1990. 농토배양사업 성과와 금후 발전전략 심포지엄. pp120.
23. Oh M.K. and Y.M. Lee. 1996. Varietal difference in response to salt-treatment in rice. *Korean J. Breed.* 28: 199-204.
24. Park R.D. 1982. Changes in contents of some metabolites and ions and in some enzyme levels in rice plants grown under water salt stress condition. *J. Kor. Agri. Chemical Soc.* 25: 135-141.
25. Ryu, I.S., I.H. Lee and S.W. Hwang. 1995. The chemical properties of plastic-house soil and yield responses of green pepper. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 28(3): 241-248.
26. Schannon M.C. 1984. Breeding, selection and the genetics of salt tolerance. In *Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement*. John Wiley & Sons. pp. 231-254.
27. Shalhevet J., M.G. Huck and B.P. Shroeder. 1995. Root and shoot growth responses to salinity in maize and soybean. *Agron. J.* 87: 512-516.