

토양 중 NaCl 농도에 따른 느티나무의 생리적 특성 변화

송근준¹ · 한심희² · 하태주¹

¹연암축산원에대학, ²임업연구원

(2003년 7월 8일 접수; 2003년 8월 4일 수락)

Changes of Physiological Properties of *Zelkova serrata* to NaCl Concentration in Soil

Keun-Joon Song¹, Sim-Hee Han² and Tae-Joo Ha¹

¹Dept. of Landscape Architecture, Yonam College of Agriculture, Chunan 333-800, Korea

²Dept. of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

(Received July 8, 2003; Accepted August 4, 2003)

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the negative physiological impact of saline to roadside trees and to assess the physio-biochemical tolerant characters of woody plants against salinity. Two-year-old *Zelkova serrata* seedlings treated with 0, 3, 14, 56, and 112 mM NaCl were measured for root collar diameter and cambial electric resistance (as an indication of vitality) and analyzed for carbohydrate and mineral content in the leaves. *Z. serrata* was affected by NaCl treatments. The vitality of *Z. serrata* decreased with an increase in NaCl concentration, and the NaCl treatment resulted in nutrient imbalance shown by changes of ion concentration in the tissues. However, relative growth rate for diameter and carbohydrate metabolism in the leaves were not greatly influenced by NaCl treatment. Short-term treatment or low NaCl concentration may not have an observed impact on growth. Nevertheless, roadside trees exposed to saline during the long term would likely show negative effects for growth performance from altered ion concentrations.

Key words : salinity, sodium chloride, *Zelkova serrata*, vitality, carbohydrate

I. 서 론

일반적으로 NaCl이나 CaCl₂은 겨울철 도로상에 있는 눈을 제거하여 차량의 운전 조건을 안전하게 만드는 데 사용된다. 그러나 이러한 염류들이 도로 주변에 식재된 가로수의 잎, 줄기 또는 뿌리에 노출될 경우 수목의 생장에 영향을 주거나 심하면 고사에 이르게 한다(Fostad and Pedersen, 1997). 일반적으로 토양 중에 Na⁺ 나 Cl⁻과 같은 염류의 농도가 지나치게 높으면, 식물의 생육에 영향을 주는데, 이것은 수목의 체내에 염류가 고농도로 흡수 축적되어 나타나는 직접적인 효과와 염류에 의해 토양의 pH가 증가하여 나타

나는 간접적인 효과 때문이다. 특히 토양의 pH가 증가할 경우, NaCl은 필수원소들의 식물 이용도를 감소시키고, 토양 구조를 불량하게 만들며 토양의 응집을 분산시킨다(Kelsey and Hootman, 1990). 따라서 NaCl은 식물 쇠퇴 요인의 일차적 또는 이차적 원인이 될 수 있다.

수목에 대한 염류 피해는 생장 억제, 엽록소 함량의 변화, 광합성의 저하 등으로 나타난다(Garcia-Sánchez *et al.*, 2002). 식물에 대한 염류 피해는 두 가지 가능성이 생각할 수 있는데, 하나는 도로상에 존재하던 염류들이 수목의 줄기나 잎에 노출됨으로써 발생하는 피해이고, 또 하나는 토양 속에 용탈된 염류들이 뿌리

를 통해 흡수되어 일으키는 피해이다. 또한 위의 두 가지 유형이 조합되어 피해가 나타날 수도 있다 (Townsend, 1980, 1984). 현재까지 염류에 대한 피해 기작은 정확하게 밝혀지지 않고 있으나, 수분 스트레스와 같은 맥락에서 연구가 진행되고 있다. 즉 염도의 증가는 식물 뿌리에서의 수분 흡수를 감소시키며, 수분 스트레스나 염류 스트레스 모두 식물 조직에서 탈수 현상을 유발하여 생장에 영향을 준다(Shalhevet, 1993). 또한 염류 스트레스로 인한 식물의 반응에 관한 연구는 염생식물과 비염생식물간의 반응성 차이를 토대로 염류 스트레스의 피해 및 내성 메커니즘을 중심으로 진행되고 있다(Sudhakar et al., 2001; Rios-Gonzalez et al., 2002).

염류에 대한 식물의 내성은 환경 조건이 가장 중요한 요인인 것으로 알려져 왔다(Townsend, 1984). 즉 서로 다른 특성을 가진 토양에서 자라는 식물들은 같은 양의 NaCl에 대해 다르게 반응하며, 기후와 상호 작용을 하거나 그렇지 않다는 결과가 보고되고 있다(Helal and Mengel, 1981). 내염성에 관한 또 다른 문제는 수종간 차이가 있다는 것이다(Ashraf and Tufail, 1995; Benyon et al., 2001). 그러나 수종간 상대적 내성 차이에 관한 연구 결과는 매우 빈약한 편이다. 특히 많은 목본 식물종의 내성은 염류의 근원에 따라 달라지며, 내염성 식물의 육종은 내성에 기여하는 다양한 생리적 요인들 때문에 매우 어렵다(Dvorak et al., 1988). 국내에서 내염성에 관한 연구는 염류가 집적된 간척지 등의 작물 및 초본 식물에 대한 연구가 주를 이루고 있으나(Shim et al., 1998; Kang and Shim, 1998), 목본식물에 대한 연구는 매우 미진한 실정이다.

따라서 본 연구는 최근 서구 유럽에서 문제가 되고 있는 가로수의 염류 피해를 조사하고, 생리생화학적 내성 특성을 구명하여 향후 국내에서도 초래될 수 있는 가로수 및 조경수의 염류 피해에 대한 대책을 마련하는데 기초 자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 공시 수종

공시 수종은 국내에서 가로수로 많이 식재하는 느티나무(*Zelkova serrata* Makino)이며, 연암축산 원예대학의 포지에 생육 중이던 묘목 중에서 수고 및 근원경을 고려하여 공시재료로 선정하였다. 느티나무 묘목은 처리별로 각각 5개체씩 총 25개체씩을 준비하였으며, 4월초에 화분에 옮겨 심고, 완전히 활착이 이루어질 때까지 관리하였다. 천안시의 2002년 월평균 기온과 강수량은 Fig. 1과 같았다.

2.2. NaCl 처리 방법

처리에 사용되는 약품은 NaCl로 처리 농도는 0, 3, 14, 56, 112 mM의 5처리로 구분하였다. 각 처리 당 5반복을 실시하였으며, 화분은 완전임의배치법을 이용하여 배치하였다. 충분히 활착한 묘목의 NaCl 처리는 8월 13일부터 42일간 실시하였으며, 처리 방법은 각각의 농도별로 5L의 처리액을 만들고 이것을 일주일 간격으로 화분의 토양에 뿌려주었다.

2.3. 수목의 활력 및 상대 직경 성장률

모든 묘목을 대상으로 이식 직후에 측정된 수고는 2.04~3.22 m였으며, 근원경은 1.1~1.7 cm 였다. 또한

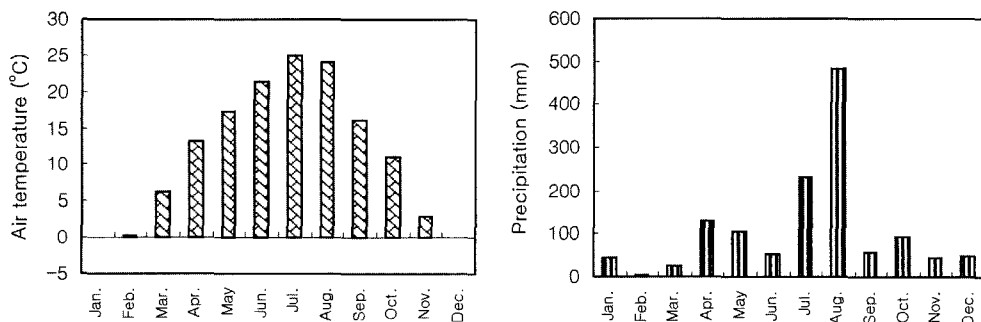


Fig. 1. Mean monthly air temperature(left) and precipitation(right) at Chunan city in Korea, 2002.

공시 수종의 활력을 평가하기 위하여 NaCl 처리 후 1주일 후부터, 사이고미터(OZ-86, USA)를 이용하여 9월 23일까지 1주 간격으로 형성층 전기저항치를 측정하였다. NaCl 처리를 종료하면서 초기 측정 부위에서 근원경을 다시 측정하였다. 근원경 증가분은 NaCl 처리전과 후의 차이로부터 계산하였다. 실험이 종료된 직후, 근원경의 평균 상대 성장율(RGR)은 $[\ln(x_2) - \ln(x_1)] / (t_2 - t_1)$ 의 식으로 계산하였다. 여기서 x_2 와 x_1 은 실험 종료 후(t_2)와 초기(t_1)의 직경을 나타낸다.

2.4. 잎 내 탄수화물과 이온 함량

NaCl 처리를 종료한 후, 공시수종의 잎을 채취하여 탄수화물과 이온 분석에 이용하였다. 탄수화물 분석은 methanol, chloroform, 증류수를 12:5:3의 비율로 혼합한 용액에 건조된 잎 시료 0.1 g를 넣고 원심 분리한 후, glucose oxidase법(Hendry and Price, 1993)에 따라 460 nm에서 흡광도를 측정하여 결정하였다. 잎 내 이온 분석은 건조 시료를 이용하였으며, 0.5 g의 건조 시료에 H_2O_2 와 HNO_3 가 3대 7로 혼합된 분해액을 첨가한 후, microwave digestion system(MLS 1200MEGA, ITALY)를 이용해서 분해하였다. 분해된 시료는 여과한 후, 증류수를 이용하여 50 ml로 희석하고, 원자흡광광도계(SHIMADZU AA6701F, JAPAN)를 이용하여 Na, Fe, Mn, Mg의 농도를 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. NaCl 처리에 따른 수목의 활력 변화

NaCl이 처리된 느티나무의 활력은 NaCl 처리 농도에 따라 차이를 보였다. 즉, 느티나무의 형성층 부위에서 측정된 전기저항치는 NaCl 처리 농도가 높아짐에 따라 증가하였다(Fig. 2). 그러나 형성층 전기저항치의 처리간 차이는 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 형성층 전기저항치는 수목의 활력을 평가하는데 주로 이용해 왔다(Borchert, 1994; Song *et al.*, 2002). 일반적으로 활력이 낮은 수목의 형성층 전기저항치는 증가하는 경향을 보이는데, 특히 여러 가지 환경 스트레스에 의해 활력이 감소한 수목은 형성층 전기저항치가 높다(Shotle *et al.*, 1979; Song *et al.*, 2002). 본 연구에서 NaCl이 처리된 느티나무의 형성층 전기저항치가 처리 농도에 따라 증가한 것은 NaCl이 스트레스 요인으로 작용했기 때문이다. 즉

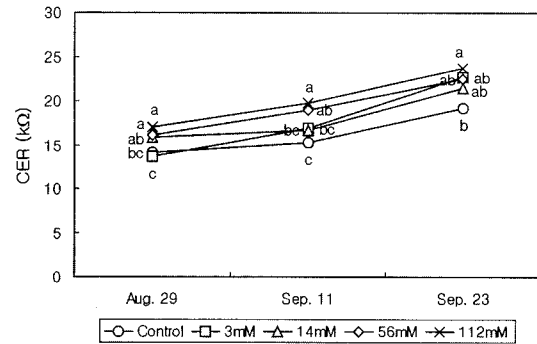


Fig. 2. Changes of cambial electrical resistance(CER) in the stems of *Z. serrata* treated with NaCl. Each data point represents the mean and standard deviation of five replicates. The different letters within the same period indicate significant differences among additive NaCl concentrations at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

염류 처리로 인해 뿌리에서의 수분 흡수력이 현저히 감소하여 수분 스트레스를 유발하였기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 시간이 경과함에 따라 형성층 전기저항치의 차이가 처리간에 감소하는 경향을 나타냈는데, 이것은 수목의 성장시기가 종료되면서 전체적인 수목의 활력이 감소했기 때문이다. 즉 수목의 형성층 전기저항치는 생장이 가장 왕성한 여름에 최저치를 나타내며, 가을이 되면서 형성층 전기저항치가 증가하는 경향을 보이기 때문에 생장이 종료되는 시기에는 처리 효과를 정확히 확인하기가 어렵다(Lee *et al.*, 1997).

3.2. 상대직경생장율과 탄수화물 농도 변화

느티나무의 상대직경생장율은 NaCl 처리간에 차이가 없었으며, 잎 내 탄수화물 농도도 큰 차이를 나타내지는 않았다(Fig. 3). 다만 잎 내 포도당 농도에서 처리간 미미한 차이를 확인할 수 있었다. NaCl이 처리된 느티나무의 상대직경생장율이 처리간에 큰 차이를 보이지 않은 것은 개체간 변이가 큰 요인으로 작용했으며, 이식 후 직경 생장이 매우 적었기 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로 염류는 뿌리에서의 수분 흡수를 감소시켜 수분 스트레스를 유발하며, 식물의 상대생장율, 잎 팽창 및 광합성을 감소시킨다(Lips, 1998). Gao *et al.* (1998)은 100 mM NaCl에 노출된 식물에서 광합성 속도가 뚜렷하게 감소하는 현상을 확인했으며, 50 mM NaCl에서는 거의 감소하지 않는 것으로 보고했다. 또한 염류에 의한 식물의 광합성 감소는 증산 속도 뿐만 아니라 기공전도도의 감소와 관

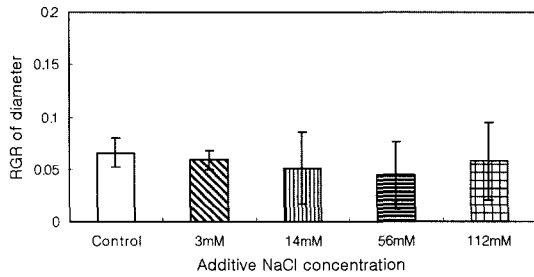


Fig. 3. Comparison of relative growth rate for the root collar diameter of *Z. serrata* treated with NaCl. Each bar represents the mean and standard deviation of five replicates.

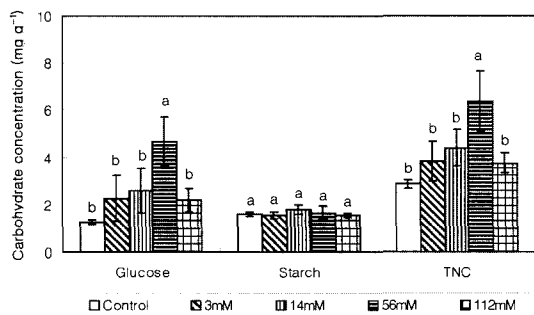


Fig. 4. Changes of glucose, starch and total non-structural carbohydrate in the leaves of *Z. serrata* treated with NaCl. Each bar represents the mean and standard deviation of five replicates. The different letters indicate significant differences among additive NaCl concentrations at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

련된다고 보고하였다.

잎 내 포도당은 56 mM NaCl 처리구에서 가장 높은 농도를 나타냈으며, 112 mM에서는 대조구와 차이가 없었고, 전분 농도도 처리간 차이가 없었다(Fig. 4).

NaCl은 수체내 고농도로 축적되는 경우 체내 삼투압을 증가시켜 수분포텐셜을 감소시키는 수분스트레스로 나타나며, 이러한 수분스트레스는 산화 스트레스로 작용하여 체내 활성산소의 생성을 야기한다. 일반적으로 수분스트레스 하에 있는 수목의 조직 내 탄수화물 농도는 증가하는 경향을 보이는데, 이것은 체내의 삼투압을 증가시켜 수분의 흡수를 증가시키기 위한 것이다. 또한 스트레스 하에 있는 수목의 잎 내 포도당 농도는 증가하는 경향을 보여주는데, 이것은 각종 스트레스 요인들에 대한 저항성 반응으로 볼 수 있다. 즉 포도당은 항산화 물질의 양을 유지하기 위하여 사용되는 NADPH의 근원이 되기 때문이며, 스트레스의

강도가 증가함에 따라 항산화 물질의 양이 증가하여 포도당의 농도가 증가한 것으로 판단된다(Robinson and Rowland, 1996). Gao *et al.* (1998)은 100 mM NaCl 처리에 의해 잎 내 전분 함량은 감소하고, 자당 농도는 증가하였으며, 이것은 자당과 전분의 대사과정에서 불균형을 초래했기 때문인 것으로 보고하였다. 특히 염류 농도가 높은 환경에서 식물 체내 자당이 축적되는 것은 자당의 산화가 염류에 의해 저해된 결과로서, 이것은 신초 생장이나 삼투압 조절과 관련된다(Greenway and Munns, 1980). 또한 자당의 농도 증가는 인산화 과정에 의해 조절되는 자당 합성의 주요 효소인 sucrose phosphate synthase(SPS)의 활성과 관계가 깊은 것으로 알려져 있다(Huber and Huber, 1992). 그러나 본 연구에서 느티나무의 잎 내 탄수화물의 농도가 처리간에 큰 차이를 보이지 않은 것은 처리기간이 너무 짧았거나 NaCl 처리 농도가 너무 낮았기 때문인 것으로 판단된다.

3.3. 잎 내 이온 농도의 변화

NaCl이 처리된 느티나무의 잎 내 이온 농도는 처리간 차이가 뚜렷하였다. 특히 Na 농도는 NaCl 처리 농도가 증가함에 따라 증가하였으며, Mn도 Na와 같은 경향을 보였다(Fig. 5). 그러나 Fe과 Mg 농도는 NaCl 처리 농도에 따라 변화가 심하였다. Na의 잎 내 농도의 증가가 다른 이온에 미치는 영향을 확인하기 위하여 실시한 이온간 상관분석 결과는 Mn이 Na 이온 농도와 가장 밀접한 정의 상관($r=0.716$, $p \leq 0.0001$)을 나타냈다. 그러나 Fe, Mg의 농도는 뚜렷한

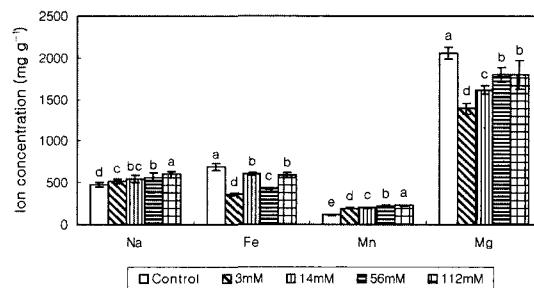


Fig. 5. Changes of ion concentration in the leaves of *Z. serrata* treated with NaCl. Each bar represents the mean and standard deviation of five replicates. The different letters indicate significant differences among additive NaCl concentrations at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

상관을 나타내지 않았다.

염류의 문제는 양료 결핍(Zn, P)과 독성(Fe, Al), 한발(drought)과 같은 다양한 스트레스를 동시에 유발시킨다(Gregorio *et al.*, 2002). 특히 염류는 식물의 양료 균형을 파괴한다. 이러한 양료 불균형은 염류가 식물의 양료 이용도, 양료 흡수 경쟁, 식물 내 수송과 분할에 영향을 미쳐 나타난 결과이다. 예를 들면 염류는 식물의 인산흡수를 줄이고 인산이용도를 감소시켜서 토양 내 축적된다. 또한 염류는 Ca^{2+} 이용도와 식물 성장 영역으로의 수송 및 이동성을 줄이며, 영양생장과 생식성장 기관에 영향을 준다(Grattan and Grieve, 1999).

일반적으로 Ca^{2+} 은 Mg^{2+} 와 심한 경쟁을 하며, Mg^{2+} 은 뿌리 원형질막 위의 결합부위에서 Ca^{2+} 보다 낮은 친화력을 나타낸다(Marschner, 1995). 그래서 잎 내 Mg^{2+} 는 심한 결핍을 나타내는 반면 Ca^{2+} 농도는 증가한다(Ruiz *et al.*, 1997). 그러나 염도 증가가 언제나 잎 내 Mg^{2+} 의 감소를 가져오는 것은 아니다(Grattan and Grieve, 1999). 본 연구에서 잎 내 Mg 이온 농도는 다른 연구 결과들과 마찬가지로 대조구보다 낮게 나타났으나, 처리 농도에 따라 차이가 있었다. 즉 3 mM NaCl 처리구에서 가장 낮은 Mg 농도를 보였고, 112 mM 처리구에 가장 높은 농도를 나타냈다. 이것은 Grattan and Grieve(1999)의 결과에서처럼 Mg 농도가 염류 농도에 의해 항상 일정하게 감소되지는 않는다는 것을 나타낸다.

또한 염류 토양 내에서 미량원소(Cu, Fe, Mo, Zn)의 용해도는 특히 낮게 나타나며, 이러한 토양에서 자라는 식물은 원소 결핍을 일으킨다(Page *et al.*, 1990). 염류에 의해 나타난 Mn 결핍은 보리(*Hordeum vulgare* L.)에서 보고된 바 있으나(Cramer and Nowak, 1992), 사탕무의 싹에서는 Mn 농도가 반대로 증가하는 것으로 보고하였다(Khattak and Jarrell, 1989). 또한 식물에서 Fe 농도에 대한 염류의 영향은 Mn 농도와 일치하지 않는 것으로 보고하였다(Dahiya and Singh, 1976). 본 연구에서 느티나무의 잎 내 Mn 농도는 NaCl 처리 농도의 증가에 따라 증가하였으며, Fe 농도는 반대로 NaCl 처리로 감소하였다. 이와 같은 결과는 Khattak and Jarrell(1989)와 Dahiya and Singh(1976)의 연구 결과와 마찬가지로 수송과 이온에 따라서 염류에 대한 반응이 다르게 나타남을 보여 준다.

IV. 적 요

본 연구는 가로수의 염류 피해 원인을 밝히고, 생리 생화학적 내성 특성을 구명하고자 하였다. 공시재료는 2년생 느티나무를 사용하였으며, NaCl을 0, 3, 14, 56, 112 mM로 토양에 처리한 후, 근원경, 형성층 전 기저항치와 잎 내 탄수화물 및 이온 함량 등을 측정하여 생리적인 피해 반응을 비교 분석하였다. 느티나무는 NaCl 처리에 의해 생리적인 대사과정이 저해를 받은 것으로 나타났다. 특히 염류 농도가 증가함에 따라 활력이 감소하였으며, 체내 이온 농도가 변하여 이온 불균형이 발생하였다. 이러한 결과는 염류 처리에 의해 식물의 뿌리에서 수분 흡수력이 저해되면서 수분 스트레스가 유발되었기 때문인 것으로 판단된다. 반면 생장과 체내 탄수화물 대사에는 큰 영향을 주지 않았는데, 이것은 NaCl 처리 농도가 너무 낮았거나 처리 기간이 너무 짧았기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 느티나무 가로수가 장기적으로 염류에 노출되었을 경우, 생장에 심각한 장애가 발생할 것으로 예측된다.

인용문헌

- Ashraf, M. and M. Tufail, 1995: Variation in salinity tolerance in sunflower(*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agronomy Crop Science*, **174**, 351-362.
- Benyon, R. G., N. E. Marcar, S. Theiveyanathan, W. M. Tunngley and A. T. Nicholson, 2001: Species differences in transpiration on a saline discharge site. *Agricultural Water Management*, **50**, 65-81.
- Borchert, R. 1994: Electric resistance as a measure of tree water status during seasonal drought in tropical dry forest in Costa Rica. *Tree Physiology*, **14**, 299-312.
- Cramer, G. R. and R. S. Nowak, 1992: Supplemental manganese improves the relative growth, net assimilation and photosynthetic rates of salt-stressed barley. *Physiologia Plantarum*, **84**, 600-605.
- Dahiya, S. S. and M. Singh, 1976: Effect of salinity, alkalinity and iron application on the availability of iron, manganese, phosphorus and sodium in pea(*Pisum sativum* L.) crop. *Plant Soil*, **44**, 697-702.
- Dvorak, J., M. Edge and K. Ross, 1988: On the evaluation of the adaptation of *Lohopyrum elongatum* to growth in saline environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* **85**, 3805-3809.
- Fostad, O. and P. A. Pedersen, 1997: Vitality, variation and cause of decline of trees in Oslo center(Norway). *Journal of Arboriculture*, **23**, 155-165.

- Gao, Z., M. Sagi and S. H. Lips, 1998: Carbohydrate metabolism in leaves and assimilate partitioning in fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) as affected by salinity. *Plant Science*, **135**, 149-159.
- García-Sánchez, F., J. L. Jifon, M. Carvajal and J. P. Syvertsen, 2002: Gas exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na⁺ and Cl⁻ accumulation in 'Sunburst' mandarin grafted on different rootstocks. *Plant Science*, **162**, 705-712.
- Grattan, S. R. and C. M. Grieve, 1999: Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulture*, **78**, 127-157.
- Greenway, H. and R. Munns, 1980: Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, **31**, 149-190.
- Gregorio, G. B., D. Senadhira and R. D. Mendonza, 2002: Progress in breeding for salinity tolerance and associated abiotic stresses in rice. *Field Crops Research*, **76**, 91-101.
- Helal, H. M. and K. Mengal, 1981: Interaction between light intensity and NaCl salinity and their effects on growth, CO₂ assimilation and photosynthate conversion in young broad beans. *Plant Physiology*, **67**, 999-1002.
- Hendry, G. A. F. and A. H. Price, 1993: Stress indicators; chlorophylls and carotenoids. *Methods in Comparative Plant Ecology: A laboratory Manual*, G. A. F. Hendry and J. P. Grime, (Eds.) Chapman & Hall, 148-152.
- Huber, S. C. and L. J. Huber, 1992: Role of sucrose-phosphate synthase in sucrose metabolism in leaves. *Plant Physiology*, **99**, 1275-1278.
- Kang, B.-H. and S.-I. Shim, 1998: Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique for saline stress. I. Survey of vegetation in saline region and determination of saline tolerance of the plant species of the region. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, **17**, 26-33.
- Kelsey, P. and R. Hootman, 1990: Soil resource evaluation for a group of sidewalk street tree planters. *Journal of Arboriculture*, **16**, 113-117.
- Khattak, R. A. and W. M. Jarrell, 1989: Effect of saline irrigation waters on soil manganese leaching and bioavailability to sugar beet. *Soil Science Society of American Journal*, **53**, 142-146.
- Lee, K. J., S. H. Han and Y. S. Jeong, 1997: Differences between species and seasonal changes in cambial electrical resistance of twenty ornamental tree species. *Journal of Korean Forestry Society*, **86**, 415-421.
- Lips, S. H., 1998: Nitrogen, stress and plant growth regulation, *Nitrogen Nutrition and Plant Growth*. H. S. Srivastava and R. P. Singh, (Eds.) Oxford and IBH Publishing, New Delhi, India, 283-304.
- Marschner, H. 1995: *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London, 889pp.
- Page, A. L., A. C. Chang and D. C. Adriano, 1990: Deficiencies and toxicities of trace elements. *Agricultural Salinity Assessment and Management*, Chapter 7, ASCE Manuals and Reports on Eng. Practice No. 71, ASCE, 138-160.
- Rios-Gonzalez, K., L. Erdei and S. H. Lips, 2002: The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources. *Plant Science*, **162**, 1-8.
- Robinson, J. M. and R. A. Rowland, 1996: Carbohydrate and carbon metabolite accumulation responses in leaves of ozone tolerant and ozone susceptible spinach plants after acute ozone exposure. *Photosynthesis Research*, **50**, 103-115.
- Ruiz, D., V. Martinez and A. Cerda, 1997: Citrus response to salinity: growth and nutrient uptake. *Tree Physiology*, **17**, 141-150.
- Shalhevet, J., 1993: Plants under salt and water stress. *Plant Adaptation to Environmental Stress*. L. Fowden, T. Mansfield and J. Stoddart, (Eds.), Chapman & Hall, 133-154.
- Shim, S.-I., S.-G. Lee and B. H. Kang, 1998: Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique for saline stress. II. Responses of emergence and early growth of several crop species to saline stress. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, **17**, 122-126.
- Shortle, W. C., J. Abusamra, F. M. Laing and M. F. Morselli, 1979: Electrical resistance as a guide to thinning sugar maples. *Canadian Journal of Forest Research*, **9**, 436-437.
- Song, K.-J., S.-H. Han and T.-J. Ha, 2002: Studies on the physiological characteristics and cambial electrical resistance of street trees in Cheonan city. *Korean Journal of Environment and Ecology*, **16**, 46-54.
- Sudhakar, C., A. Lakshmi and S. Giridarakumar, 2001: Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, **161**, 613-619.
- Townsend, A. M., 1980: Response of selected tree species to sodium chloride. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **105**, 878-883.
- Townsend, A. M., 1984: Effect of sodium chloride on tree seedlings in two potting media. *Environmental Pollution*, **34**, 333-344.