

NaCl 농도별 토양 처리에 대한 4수종의 성장 반응^{1a}

박우진^{2*} · 서병수³ · 박종민³ · 최충호⁴ · 최수민⁵

Growth Responses of 4 Species to NaCl Concentration in Artificial Soil^{1a}

Woo-Jin Park^{2*}, Byung-Soo Seo³, Chong-Min Park³, Chung-Ho Choi⁴, Soo-Min Choi⁵

요약

NaCl 처리에 대한 물푸레나무, 모감주나무, 상수리나무, 참느릅나무의 성장반응을 살펴보기 위하여 NaCl 용액을 0, 25, 50, 100, 200mM 농도로 4개월간 처리하고 생존율, 상대생장을 변화, 생체중 및 건물중, 잎의 색소함량을 분석하였다. NaCl 처리에 따라 토양의 pH와 EC가 증가하였으며, 처리기간이 길어짐에 따라 4수종의 성장율은 뚜렷하게 감소하였다. 최종 생존율이 가장 높은 수종은 참느릅나무로서 200mM 처리구에서 15%의 생존율을 보였고, 나머지 3수종은 200mM 처리구에서 모두 고사하였다. 상대생장을, 생체중 및 건물중은 NaCl 처리기간이 길어짐에 따라 감소하였다. 총 엽록소 함량은 60일 후까지 증가하는 경향을 보이다가 감소하였으며, 모든 수종에서 NaCl 처리에 따른 총 엽록소 함량과 카로테노이드 함량의 변화는 크지 않았다. NaCl 처리 시 발생하는 산화적 스트레스에 대한 4수종의 성장반응을 종합한 결과 참느릅나무, 모감주나무, 물푸레나무, 상수리나무 순으로 내성이 큰 것으로 판단되었다.

주요어: 염 스트레스, 생체중 및 건물중, 잎 색소 함량

ABSTRACT

In order to inspect growth responses of *Fraxinus rhynchophylla* Hance, *Koelreuteria paniculata* Laxmann, *Quercus acutissima* Carruther and *Ulmus parvifolia* Jacquin to NaCl treatment, NaCl solution was treated for four months with 0, 25, 50, 100 and 200 mM concentrations, then survival rate, change of relative growth rate, weight, dry weight and pigment content of leaf were investigated. According to NaCl treatment, pH and EC (electrical conductivity) of soil increased, and growth rates of four tree species fell apparently as treatment time became longer. *U. parvifolia* had the highest survival rate with 15% in the 200mM treatment, and the other three species withered in the treatment. Relative growth rate, weight and dry weight decreased when NaCl treatment time grew longer. The total chlorophyll declined after it rose to 60 days, and the total chlorophyll and carotenoid of the all species according to NaCl treatment did not change very much. With the result from analyzing growth responses of four tree species to oxidative stress which occurs during NaCl treatment, *U. parvifolia* has the

1 접수 2010년 9월 28일, 수정(1차: 2010년 12월 15일, 2차: 2010년 12월 29일), 게재확정 2010년 12월 30일

Received 28 September 2010; Revised(1st: 15 December 2010, 2nd: 29 December 2010); Accepted 30 December 2010

2 전북대학교 농업과학기술연구소 Institute of Agricultural Science & Technology, Jeonbuk National University, Jeonju (561-756), Korea

3 전북대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Jeonbuk National University, Jeonju(561-756), Korea

4 경기도 산림환경연구소 Gyeonggi-do Forest Environment Research Institute. Osan(447-290), Korea

5 국립산림과학원 남부산림연구소 Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju(660-300), Korea

a 이 논문은 본 학회 2009년 학술대회논문집 19권 2호 발표 후 심사를 통해 발전시킨 것임.

* 교신저자 Corresponding author(sophora@jbnu.ac.kr)

highest tolerance, followed by *K. paniculata*, *F. rhynchophylla* and *Q. acutissima*.

KEY WORDS: SALT STRESS, FRESH AND DRY WEIGHT, LEAF PIGMENT

서론

토양에 고농도로 집적된 Na^+ 와 Cl^- 과 같은 염류는 식물의 정상적인 수분흡수를 방해하여 생리적 한발을 초래하며 양분흡수를 어렵게 한다. 또한, 식물체내에 Na^+ 의 과잉 축적으로 각종 효소활성이 저해되어 식물생장의 억제, 엽록소함량의 변화, 광합성의 저하와 같은 피해가 나타나며 (García-Sánchez *et al.*, 2002), 토양 내 고농도의 NaCl 의 집적은 pH를 증가시켜 필수원소들의 이용도를 감소시키고 토양구조를 불량하게 만들며 토양의 응집을 분산시킨다 (Kelsey and Hootman, 1990). 이러한 염해토양으로는 해안, 간척농경지, 임해매립지, 시설재배지 등을 들 수 있다. 염해토양의 대표적 수목식재대상인 임해매립지는 저지대에 위치하여 지하수위가 높고, 배수가 불량하며 토양 내 염농도가 높아 표층의 염분을 제거하더라도 건조기에는 모세관수 상승에 의해 염분이 표층에 재축적된다. 따라서 간척지 토양에 식물을 정착시키려면 탈염과 관련된 충분한 공기, 경제적인 식재방법, 내염성 식물의 선택 등 보다 체계적인 식재방법이 채택되어야 한다(Oh and Choi, 2001). 임해매립지는 바다를 매립하여 육지화한 부지로서 자연경관과 생태계가 훼손 또는 파괴되고, 자연성이 낮아서 인간의 정주 환경이 매우 열악하여 생활환경 개선과 생태계 복원을 위하여 조경 수목을 대단위로 식재하여 오고 있다(Kim, 2006). 그러나 대부분의 임해매립지에서는 조풍의 피해와 함께 건조, 배수불량, 토양의 고결, 식재지반 하부에 상존하는 염분 등 성장에 불리한 토양환경에 의하여 식재수목의 정상적인 생육에 지장을 초래한다(Kim and Park, 2004). 그로 인해 수목식재 공사에 있어 주요 하자 요인이 된다.

이와 관련한 연구로는 정상적인 수목생장이 가능한 토양의 복토 높이를 분석한 Byun(2004)의 연구가 있으며, 토양 내 염분 함량에 따른 수종별 분포 및 생육반응에 관한 연구로는 계화 간척지에 식재 적합한 수종을 선발한 Koh *et al.*(1984)의 연구와 동해안림의 수종분포와 토양염분농도와의 관계를 조사한 Choi(1986)의 연구가 있다. 또한 Bae and Lee(2001)는 해안매립지의 생태적 환경복원계획 수립을 위한 적정식물을 선정하여 보고하였으며, Park *et al.*(2003)은 임해매립지인 광양제철 주거단지 내에 식재된 낙엽교목을 대상으로 식재지반별 수목의 고사율과 수목의 생리적 특성과의 관계를 살펴보았다. 하지만 많은 연구가 염해토양에 대단위로 식재된 수목의 활착율 및 생존율을

살펴보고 이에 영향을 끼치는 환경인자를 조사하였으며, 토양 염농도에 따른 수종별 성장반응특성을 구체적으로 분석한 결과는 부족한 실정이다.

토양 염분에 대한 수목의 성장 및 생리적 반응을 구체적으로 살펴본 연구로는 토양 중 NaCl 농도별 느티나무의 생리적 특성변화를 살펴본 Song *et al.*(2003)의 연구가 있으나 NaCl 처리 기간이 8월 13일부터 42일간으로 비교적 단기간이었으며 느티나무 한 종만을 대상으로 하였다. 그에 비해 Sixto *et al.*(2005)은 여러 지역에서 자생하는 *Populus* 속의 삽수를 채취하여 60일간 NaCl 처리 농도를 3수준으로 처리한 후 성장반응을 분석하였지만, 수목의 성장기간을 고려할 때 NaCl 처리별 성장반응은 장기간 관찰이 필요하다고 생각된다. 또한 기존의 내염성에 관한 연구는 작물 및 초본 식물에 대한 연구가 주를 이루고 있어(Koca *et al.*, 2007), 목본식물에 대한 자료는 부족한 실정으로 좀 더 다양한 수종에 대한 성장반응분석 자료가 필요할 것으로 생각된다. 관련 연구의 부족으로 인해 지금까지 임해매립지의 조경사업과 수림조성사업에서 자원과 경제적 손실은 물론 경관의 황폐화를 초래한 사례가 많았다.

따라서 본 연구에서는 임해매립지의 토양에 과다 집적된 염 중에서 가장 많은 부분을 차지하는 NaCl 을 처리하고, 수목의 성장반응 특성 분석을 통하여 NaCl 스트레스에 대한 내염력에 대한 기작을 검증하고, 내성이 강한 수종을 선발하는 데에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시험수종

내염성이 있다고 보고된 활엽수 중 예비실험을 통해 시험수종을 선정하였으며, 전북대학교 학술림 묘포장에 생육 중이던 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla* Hance) 2-0묘, 모

Table 1. Mean of height and root collar diameter of four tree species

Species	Height(cm)	Root collar diameter(mm)
<i>F. rhynchophylla</i>	53.76 ± 0.88*	5.89 ± 0.18
<i>K. paniculata</i>	75.56 ± 0.75	8.29 ± 0.09
<i>Q. acutissima</i>	70.31 ± 0.89	8.21 ± 0.45
<i>U. parvifolia</i>	91.14 ± 1.42	4.57 ± 0.18

*Mean±S.E.(n=20)

감주나무(*Koelreuteria paniculata* Laxmann) 2-0묘, 상수리나무(*Quercus acutissima* Carruther) 2-0묘, 참느릅나무(*Ulmus parvifolia* Jacquin) 2-0묘를 이용하였다. 수종별 묘목의 규격은 Table 1과 같다.

2. 재배조건 및 NaCl 처리

묘목은 인공토양(sand:peatmoss:perlite=6:1:3, 부피비)을 담은 플라스틱 포트(내경 22cm, 높이 24cm)에 2006년 11월 20일에 이식하고, 각 처리구별로 20개체씩 완전임의 배치하여 2007년 5월 29일까지 활착을 유도하였다. 시험수종은 이식 후 9월 29일까지 전북대학교 교내 학술림의 온실에서 재배되었으며, 시험기간 동안 화분 위치에 따른 영향을 줄이기 위하여 2주일 간격으로 화분을 재배치하였다. 시험기간 동안 자기온습도계(TR-72S, Japan)로 측정된 온도와 습도는 Figure 1과 같다. NaCl 처리 농도는 임해매립지 기반토양의 염분농도에 해당되는 200mM을 최고농도로 정하고 반분하는 방법으로 0, 25, 50, 100, 200mM의 5개 수준으로 하였으며, NaCl 용액은 2007년 5월 30일부터 9월 29일까지 4개월간 토양의 수분 상태에 따라 포트 당 500mL씩 주 2회 관수하였다.

3. 토양 pH 및 EC 측정

NaCl 용액 처리 120일 후의 처리구별 토양을 채취하여 pH와 전기전도도(electrical conductivity, EC)를 측정하였다. 채취한 토양을 풍건시킨 후 각 5g 씩 50mL 비이커에 취하여 증류수 25mL를 가해 2시간 동안 충분히 교반시킨 후 각각 pH meter(pH340i, WTW, Germany)와 EC meter(ORION model135, Germany)로 측정하였다.

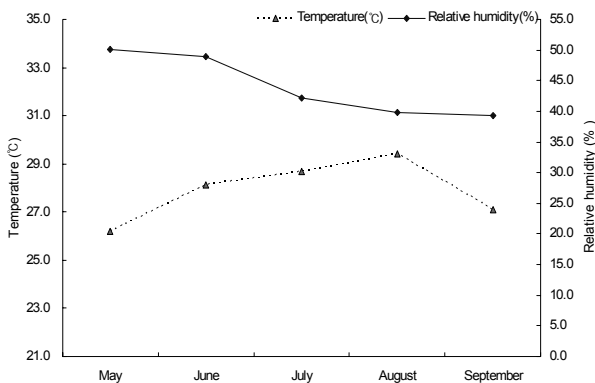


Figure 1. Monthly changes in average of air temperature and relative humidity

4. 생장조사

NaCl 처리가 수목 생장에 미치는 영향을 파악하기 위해 30일 간격으로 개체별 수고와 근원경을 측정하고, 다음 식에 의해 상대성장율(Relative Growth Rate)을 구하였다. 여기서 x_2 와 x_1 은 각 시간 t_2 와 t_1 에 측정된 수고와 근원경을 나타낸다.

$$\bullet \text{ 상대성장율(RGR)} = \frac{\ln(x_2) - \ln(x_1)}{(t_2 - t_1)}$$

2007년 9월 30일에 수종별 최종 생존율을 조사하였으며 각 처리구에서 수확한 묘목은 이물질들을 제거하고 생체중을 측정 후 잎, 줄기, 뿌리로 구분하여 70°C의 건조기에서 72시간 동안 건조한 후 건물중을 측정하였다.

5. 잎의 색소 함량 분석

잎의 색소 함량은 NaCl 처리 후 30일 간격으로 dimethyl sulfoxide(DMSO)를 이용한 Hiscox and Israelstam(1979)의 방법을 이용해 분석하였다. 0.1g 생엽에 DMSO 10mL를 첨가하고 70°C의 항온수조에서 2시간 동안 유지하여 색소를 추출하여 Lichtenthaler(1987)의 식에 의하여 계산하였다.

6. 통계분석

각 측정치는 SAS Version 8.0 for Windows(SAS Institute Inc. Cary, NC)를 이용해 일원분산분석을 실시하였고, 처리 평균 간의 비교는 Duncan의 다중검정을 하였다.

결과 및 고찰

1. NaCl 처리농도별 토양 pH 및 EC의 변화

이식 전 토양의 $pH_{1.5}$ 와 $EC_{1.5}$ 는 각각 5.9와 0.03dS/m이었으며, NaCl 처리 120일 후의 $pH_{1.5}$ 와 $EC_{1.5}$ 는 Figure 2와 같다. 모든 수종에서 NaCl 처리농도가 높을수록 $pH_{1.5}$ 와 $EC_{1.5}$ 가 증가하였는데 $pH_{1.5}$ 보다 $EC_{1.5}$ 의 증가폭이 현저하였다. 특히 참느릅나무의 경우 120일째의 200mM 처리구의 $EC_{1.5}$ 가 1.42dS/m로 가장 높았다. 이는 수종에 따라 토양 중 NaCl의 흡수량이 다르기 때문으로 생각된다. NaCl 농도가 높아질수록 토양 내에 축적되는 염의 증가로 인해 $pH_{1.5}$ 와 $EC_{1.5}$ 가 증가하였는데 Park(2005)의 보고와 유사하였다. 수목의 식재 가능한 EC는 0.2dS/m 이하로 알려져 있고 (KFRI, 2000), 일반 수목에 대한 염분의 한계농도는 0.05%를 기준으로 하고 있는데(Oh and Choi, 2001), 본 연구에서 처리 120일 후 수종별 200mM 처리구의 $EC_{1.5}$ 가 1.17~1.42dS/m로서 일반적인 수목이 생존하기 어려운 범위로 나

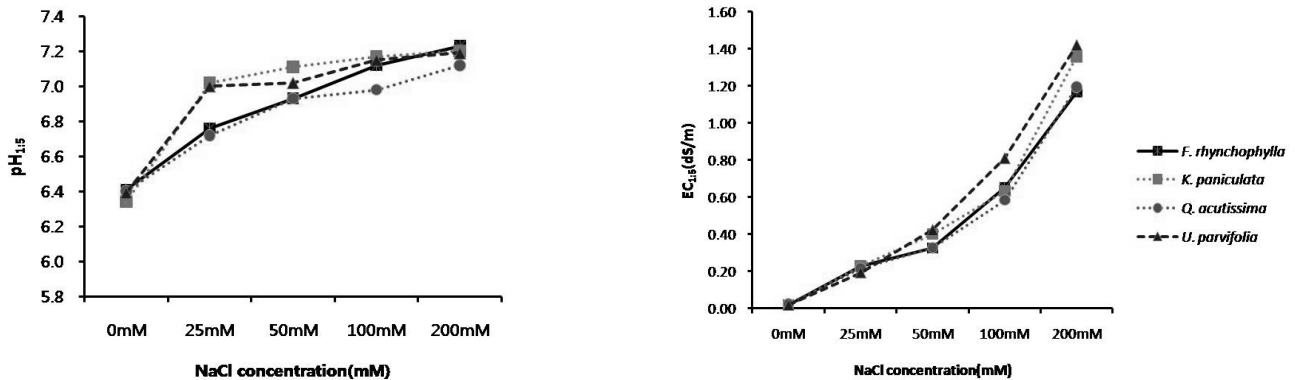


Figure 2. Change of pH_{1.5} and EC of soil after 120 days at 0, 25, 50, 100 and 200mM NaCl

타났다.

2. NaCl 처리농도별 최종 생존율

수종별 최종 생존율은 Table 2와 같다. 상수리나무와 물푸레나무는 처리 20일 후에 200mM에서 가장 먼저 고사개체가 발생하였으며, 가장 낮은 농도의 처리구인 25mM 처리구까지 고사개체가 발생하였다. 모감주나무는 처리 15일 후 200mM 처리구에서 가장 먼저 고사개체가 발생하였으며, 50mM 처리구까지 고사 개체가 발생하였다. 100mM 처리구에서는 참느릅나무를 제외한 나머지 3종의 생존율이 현저히 감소하여 물푸레나무는 20%, 모감주나무는 35%, 상수리나무는 15%의 생존율을 보였다. 최고 농도인 200mM 처리구에서는 참느릅나무를 제외한 3수종의 모든 개체가 고사하였다. 생존율을 기준으로 한 NaCl 처리에 대한 내성이 가장 강한 수종은 참느릅나무였으며, 가장 예민한 감수성을 보인 수종은 상수리나무였다.

상수리나무의 NaCl 처리에 따른 고사 정도는 Koh *et al.*(1984)의 부안군 계화도 간척지 인근에 자생하거나 인공 식재된 12종을 선정하여 염분 농도 0.1%인 곳에 식재한 결과 참나무류의 고사율이 가장 높았고, 특히 상수리나무의 고사율이 94%이었다는 연구 결과와 유사하였다. 또한 KFRI(2000)는 해송, 느티나무, 상수리나무, 화백을 아산국가공단의 갯벌구 및 복토 높이를 다르게 하여 염도 0.01~

0.12%의 시험구에 식재한 결과, 전체 처리구에서 상수리나무가 화백 다음으로 높은 고사율을 보였다고 보고하였다. 상수리나무는 해안가 식생조사 시 출현빈도가 높아 내염성이 강한 수종으로 알려져 있으나 실제 임해매립지에 식재 시 고사율이 높은 것으로 추정되었다. NaCl 처리 종료 후 최종 생존율은 참느릅나무 > 모감주나무 > 물푸레나무 > 상수리나무 순으로 나타났다.

3. 상대 생장을 변화

각 처리구의 처리일수에 따른 수고와 근원경의 상대생장율을 분석한 결과, 모감주나무와 참느릅나무 25mM 처리구의 수고 상대생장율을 제외한 대부분의 처리구에서 처리일수 증가에 따라 상대생장율이 감소하는 것으로 나타났다 (Figure 3, 4). 모감주나무와 참느릅나무 25mM 처리구의 경우 처리 120일 후에 가장 높은 생장율을 보여 NaCl 처리에 의해 90일까지는 생장이 저해되었으나, 그 이후에는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 하지만 나머지 처리구에서는 NaCl 처리 기간 동안 무처리에 비해 낮은 수고생장율을 보였다. 반면 물푸레나무와 상수리나무는 처리기간이 길어짐에 따라 지속적으로 수고 상대생장율이 감소하였으나, 무처리구에 비해 NaCl을 처리한 경우 수고 상대생장율이 높게 유지되어 NaCl 처리가 초기생장에 도움이 된 것으로 생각되었다. 하지만 처리일수가 증가함에 따라 대체적으로

Table 2. Survival percentages of four tree species at 0, 25, 50, 100 and 200mM NaCl for 120 days (unit : %)

Species	NaCl concentration(mM)				
	0	25	50	100	200
<i>F. rhynchophylla</i>	100	95	75	20	0
<i>K. paniculata</i>	100	100	90	35	0
<i>Q. acutissima</i>	100	85	70	15	0
<i>U. parvifolia</i>	100	100	100	100	15

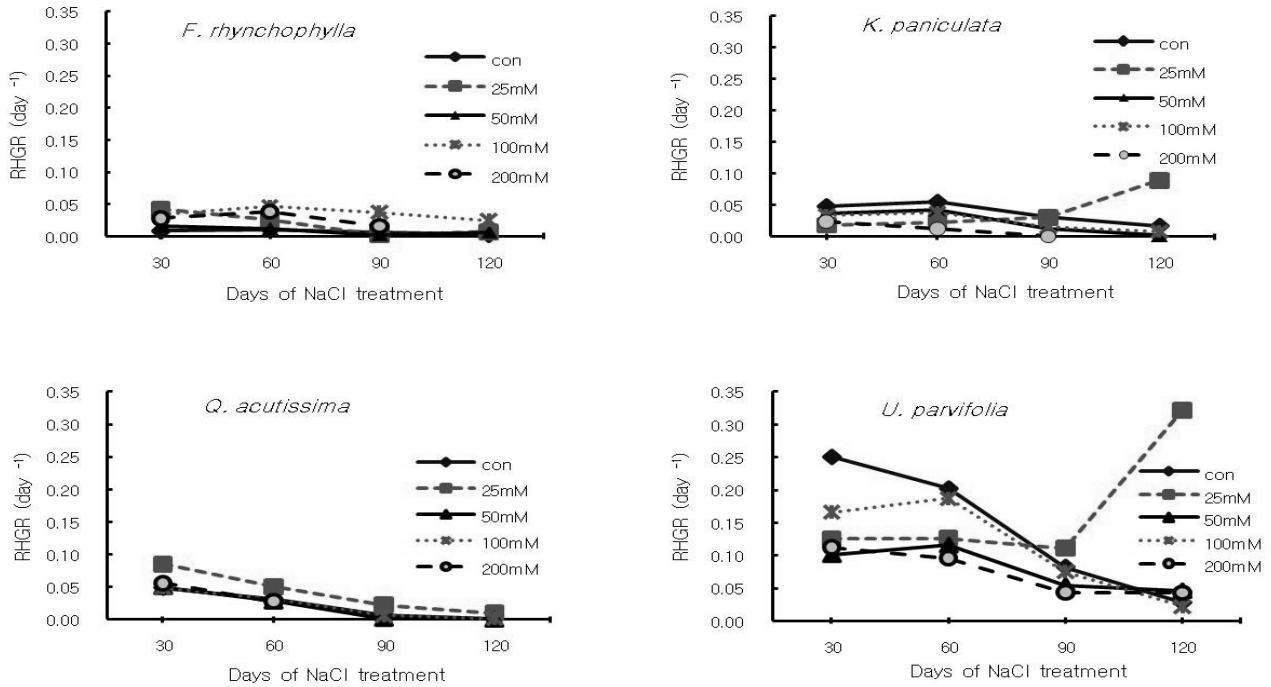


Figure 3. Relative height growth rate of four tree species at 0, 25, 50, 100 and 200mM NaCl

수고 상대생장율이 감소하는 경향을 보였다.
 근원경 상대생장율 역시 4수종의 모든 처리구에서 처리 기간이 길어짐에 따라 감소하였는데(Figure 4), 특히 상수

리나무의 근원경 상대생장율이 처리 30일 이후에 뚜렷하게 감소하여 NaCl 처리에 의한 성장저해 영향이 가장 컸다. 상수리나무는 토양의 NaCl 함량 증가에 따라 직경상대생장

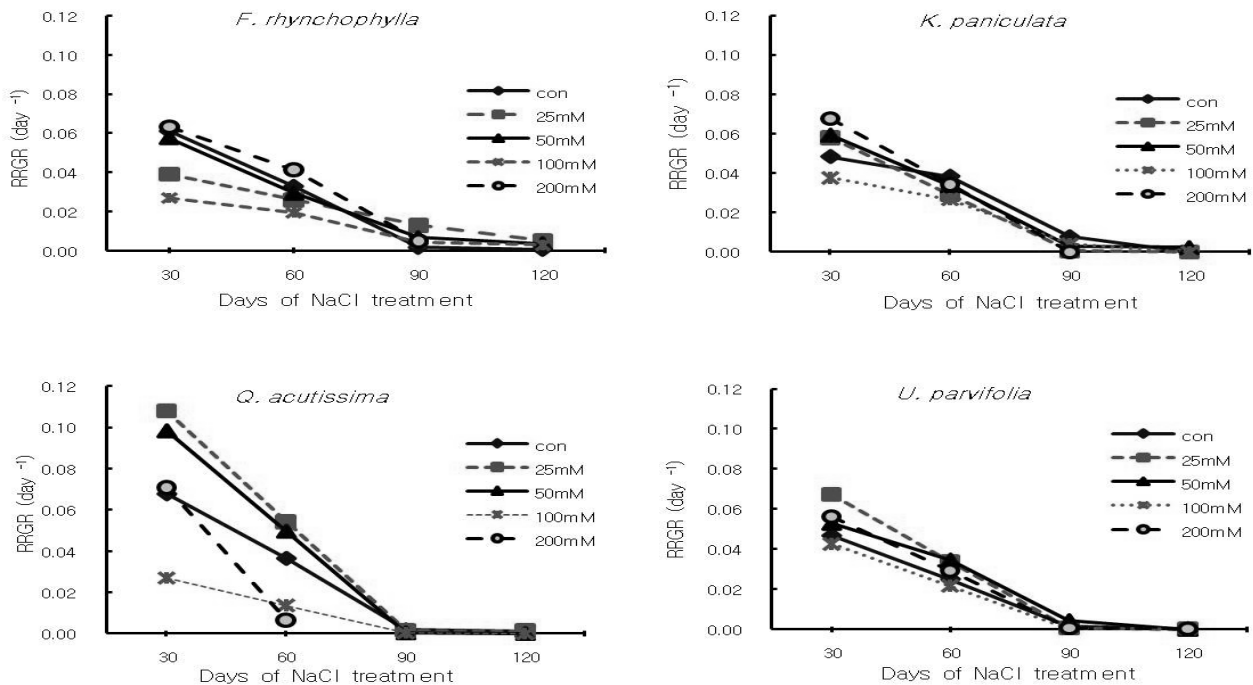


Figure 4. Relative root collar diameter growth rate of four tree species at 0, 25, 50, 100 and 200mM NaCl

울의 감소가 뚜렷해지는 것으로 추정되었으며, 이는 아산국가공단에 식재 시 복토높이를 높여 염도가 낮아질수록 직경생장율이 양호하게 나타났다는 KFRI(2000)의 보고와 유사하였다. 처리기간 동안 상대생장율을 분석한 결과 NaCl 처리에 의해 생장에 가장 큰 저해 영향을 받은 종은 상수리나무였으며, 처리기간 동안 상대적으로 높은 상대생장율을 보인 참느릅나무가 NaCl 처리에 의한 생장 저해 영향을 가장 적게 받은 것으로 생각되었다.

4. 생체중 및 건물중

NaCl 처리에 의한 생장 저해 영향을 살펴보기 위해 생체중과 건물중을 측정된 결과, NaCl 처리 농도가 증가함에 따라 건물중과 생체중이 모두 감소하는 경향을 보였는데 생체중의 감소폭이 더 현저하였다(Table 3). NaCl 처리에 의해 가장 많은 생체중 감소를 보인 수종은 모감주나무로서 50mM 처리구의 생체중은 대조구에 비해 40.7%가 감소하였고, 200mM의 경우 64.8%가 감소하였다. NaCl 처리농도 증가에 따른 생체중 감소율이 적은 종은 참느릅나무이었다. 참느릅나무의 경우 대조구 대비 25mM 처리구와 50mM 처리구의 생체중은 오히려 증가하였고, 200mM 처리구의 감소율도 상대적으로 작았다. 이는 대조구 대비 25mM 처리구의 수고 및 근원경 상대생장율이 처리 120일까지 증가

하였기 때문에 생각되었다. 고농도의 NaCl 처리에 의해 건물중이 가장 많이 감소한 종은 물푸레나무로 대조구에 비해 200mM 처리구의 건물중은 36.4%가 감소하였다. NaCl 처리에 따른 건물중의 감소는 생체중의 감소율에 비해 적었는데 이는 NaCl 처리가 체내 수분함량에 미치는 영향이 더 크기 때문이며, 대조구에 비해 200mM 처리구의 건물중이 49.4% 증가한 참느릅나무 역시 NaCl 처리에 의해 체내수분함량에 영향을 받았지만 전체 생장에 대한 저해 영향은 다른 수종에 비해 적었던 것으로 생각되었다.

건물중의 부위별 비율을 살펴보면 4수종 모두 많은 부분이 뿌리 무게로 NaCl 처리 시 지하부의 생장보다 지상부의 생장에 더 많은 영향을 받은 것으로 판단되었다. 또한 4수종 모두 고농도 처리일수록 S/R율이 감소하였는데, 이는 잎과 뿌리의 건물중 보다는 줄기 부위의 건물중이 감소했기 때문이라고 생각되었다. 이와 유사한 연구결과로는 *Populus* 속 삽수에 NaCl 처리한 결과 지상부의 생장에 큰 저해를 보였다고 보고한 Sixto *et al.*(2005)의 연구가 있으며 보리(Cho and Kim, 1998), 사탕무(Ghoulam *et al.*, 2002), 담배(Sifora and Postiglione, 2002), 카네이션(Oh *et al.*, 2005)과 유사하였다.

염 스트레스는 식물의 잎 생장을 현저히 억제할 뿐만 아니라, 뿌리의 세포분열과 신장을 억제하여 지상부 생장에 필요한 미네랄 영양분의 흡수를 저해하고, 염 스트레스 극복

Table 3. Effects of NaCl on fresh and dry weight of four tree species in 120 days at 0, 25, 50, 100 and 200mM NaCl

Species	NaCl (mM)	Fresh weight(g)				Dry weight(g)					Water content (g)
		Leaf	Stem	Root	Total (A)	Leaf	Stem	Root	Total (B)	S/R ratio	
<i>F. rhynchophylla</i>	0	7.01b	18.40a	26.56a	51.97a	2.83c	10.22a	12.67a	25.72a	1.03a	26.25a
	25	7.23b	15.98ab	24.15a	47.36ab	3.14b	7.89c	11.51b	22.54b	0.96b	24.82ab
	50	8.64a	15.21ab	20.77ab	44.62ab	4.58a	9.23b	13.98a	27.79a	0.99b	16.83b
	100	3.84c	12.75bc	16.20b	32.79b	1.88d	8.18c	10.40b	20.46b	0.97b	12.33bc
	200	*	9.78c	9.73c	19.51c	-	7.11d	8.23c	15.34c	0.86c	4.17c
<i>K. paniculata</i>	0	21.48a	53.26b	58.30b	133.04ab	8.32a	21.77ab	19.92b	50.01b	1.51a	83.03a
	25	21.92a	55.28b	68.02a	145.22a	8.83a	23.78a	30.48a	63.09a	1.07ab	82.13a
	50	14.76b	64.12a	55.20b	78.88b	5.12b	24.31a	21.88b	51.31b	1.35a	27.57c
	100	1.16c	43.92bc	41.10bc	86.18b	0.72c	18.43b	22.21b	41.36bc	0.85b	44.82b
	200	-	23.07c	23.80c	46.87c	-	14.84c	14.31c	29.15c	1.04ab	17.72c
<i>Q. acutissima</i>	0	10.28a	25.24a	38.10b	73.62a	4.53a	13.29c	20.12b	37.94c	0.89b	35.68a
	25	9.99ab	24.18a	39.23b	73.40a	4.76a	17.36a	21.77b	43.89b	1.02a	29.51b
	50	5.28b	22.43a	45.15ab	72.86a	3.02b	16.21a	28.80ab	48.03a	0.67bc	24.83bc
	100	1.87c	16.51c	53.71a	72.09a	1.43c	15.00b	29.98a	47.35a	0.55c	24.74bc
	200	-	19.18b	39.64b	58.82b	-	16.12ab	30.48a	46.60ab	0.53c	12.22c
<i>U. parvifolia</i>	0	8.79ab	14.02c	14.76c	37.57b	2.01b	6.71d	6.28c	15.00c	1.39a	22.57a
	25	10.34a	18.95a	20.57ab	49.86a	4.60a	11.81a	11.85b	28.26a	1.38a	21.60b
	50	5.19b	15.75b	23.58a	44.52a	2.43b	9.92b	13.20a	25.56a	0.94b	18.97bc
	100	3.03c	14.98c	17.69b	35.70b	1.67bc	8.67c	12.23ab	22.57b	0.85c	13.13c
	200	1.50d	15.31b	18.67b	35.48b	0.78c	9.20b	12.43ab	22.41b	0.80c	13.07c

The different letters indicate significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test in respective stands.

*- : N/A(plant died)

을 위한 대사적·영양적 그리고 삼투적 에너지 소비를 증가시켜 생장과 발달을 저해하는 것으로 보고되었다(Bae *et al.*, 2003). 또한 NaCl은 PS I, PS II, Rubisco와 같은 광합성계

구성 요소의 원활한 기능을 저해함으로써 식물체의 생장과 물질 생산의 감소를 유발하는 것으로 알려져 있는데, 이로 인해 잎, 줄기, 뿌리의 생체중과 건물중은 확실히 감소하는

Table 4. Mean total chlorophyll(C_{a+b}) and carotenoid(Car) content in the leaves of four tree species at 0, 25, 50, 100 and 200mM NaCl (unit : $mg\ g^{-1}$)

Species	Days of treatment	NaCl (mM)	C_{a+b}	Car	Species	Days of treatment	NaCl (mM)	C_{a+b}	Car
<i>F. rhynchophylla</i>	30	0	1.14c	0.20ab	<i>Q. acutissima</i>	30	0	1.66b	0.24a
		25	1.77a	0.23a			25	1.86a	0.24a
		50	1.66ab	0.23a			50	1.58b	0.23a
		100	1.28bc	0.21ab			100	2.09a	0.23a
		200	0.91c	0.18b			200	1.89a	0.24a
	60	0	1.71a	0.25a		60	0	1.95ab	0.24a
		25	1.76a	0.25a			25	2.23a	0.23a
		50	1.16b	0.22b			50	1.95ab	0.22a
		100	1.47a	0.24a			100	1.99a	0.23a
		200	0.95b	0.21b			200	1.30b	0.22a
	90	0	1.49a	0.23a		90	0	1.87b	0.23a
		25	1.51a	0.24a			25	1.94b	0.23a
		50	1.16b	0.22ab			50	2.15a	0.23a
		100	1.47a	0.23a			100	1.79b	0.23a
		200	0.83c	0.19b			200	-	-
	120	0	1.27bc	0.22a		120	0	2.03a	0.22a
		25	1.12c	0.22a			25	1.91a	0.22a
		50	1.52a	0.23a			50	1.86ab	0.23a
		100	1.47ab	0.24a			100	1.60b	0.22a
		200	-*	-			200	-	-
<i>K. paniculata</i>	30	0	2.04a	0.23b	<i>U. parvifolia</i>	30	0	1.03a	0.18a
		25	2.04a	0.25a			25	0.77ab	0.15b
		50	1.65b	0.23b			50	0.70bc	0.14b
		100	1.81ab	0.24ab			100	0.72bc	0.15b
		200	1.65b	0.24ab			200	0.41c	0.10c
	60	0	2.07a	0.22a		60	0	1.21a	0.21a
		25	2.00ab	0.26a			25	1.16a	0.19ab
		50	2.14a	0.25ab			50	0.86ab	0.16b
		100	1.89b	0.25ab			100	1.08a	0.20a
		200	2.01ab	0.25ab			200	0.45b	0.13c
	90	0	2.17a	0.22b		90	0	1.56a	0.23a
		25	1.87b	0.24ab			25	0.94c	0.18b
		50	1.98ab	0.25a			50	1.18bc	0.20ab
		100	2.16a	0.25a			100	1.04b	0.21ab
		200	1.46c	0.25a			200	0.45d	0.10c
	120	0	2.05a	0.23a		120	0	2.09a	0.23b
		25	2.04a	0.24a			25	1.45b	0.32a
		50	1.89b	0.24a			50	0.94c	0.17c
		100	1.79b	0.24a			100	0.16d	0.05d
		200	-	-			200	0.25d	0.07d

The different letters indicate significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test in respective stands.

*- : N/A(plant died)

것으로 알려져 있다(Sixto *et al.*, 2005). 본 연구에서도 유사한 양상을 보였는데, 4수종 모두 무처리구 대비 고농도 처리구인 200mM의 생체중의 감소가 가장 뚜렷하였으며, 이는 처리농도가 높아짐에 따라 지상부의 성장과 체내 수분 함량이 뚜렷하게 감소하였기 때문으로 생각되었다.

5. 잎의 색소 함량 분석

NaCl 처리농도별 각 수종의 총 엽록소 함량의 변화는 Table 4와 같다. NaCl 처리에 따른 엽록소 함량의 변화가 가장 큰 종은 참느릅나무이었으며, 대부분 수종의 경우 처리 60일까지는 NaCl 처리 농도별 엽록소 함량이 소폭 증가하는 경향을 보였다. 모감주나무와 상수리나무의 경우 처리 기간 동안 처리 농도별 엽록소 함량에 차이가 크지 않았으나, 물푸레나무와 참느릅나무는 200mM 처리구의 엽록소 함량이 상대적으로 낮았다. 특히 참느릅나무의 경우 100mM 이상에서 90일 경과 후 급격히 감소하는 경향을 보였다. 이는 스트레스에 내성을 가진 녹두와 염에 민감한 녹두 품종 모두에서 NaCl 처리농도가 높아질수록 잎의 총 엽록소 함량이 감소했으며(Misra and Gupta, 2005), 토마토(Lopez and Satti, 1996)의 경우 NaCl 스트레스 하에서 특히 총 엽록소(엽록소 a+b)와 엽록소 a 및 카로테노이드의 감소가 뚜렷했다는 보고와 유사한 결과로 생각되었다. 염 스트레스 하에서 잎의 엽록소와 총 카로테노이드 함량은 일반적으로 감소한다고(Agastian *et al.*, 2000) 알려져 있는데, 본 연구에서는 참느릅나무만이 비교적 유사한 경향을 보였으며, 상수리나무의 경우는 처리농도와 처리일수에 상관없이 카로테노이드 함량에 거의 변화가 없었다. NaCl 처리에 따른 카로테노이드의 변화 양상에 대한 연구에서 토마토(Lopez and Satti, 1996)는 처리농도가 증가할수록 감소하였으며, 알파파의 경우 함량에 변화가 없었다(Khavarinejad and Chaparzadeh, 1998). 또한 *Bruguiera parviflora*에 NaCl을 처리한 Parida *et al.*(2002)의 연구에서는 NaCl 처리농도에 따라 카로테노이드의 함량이 뚜렷하게 감소하는 것으로 나타났는데, 본 연구 결과에서도 수종에 따라 NaCl 처리에 대한 반응 양상이 다르게 나타났다. 따라서 보다 정확한 수종별 내염성을 비교하기 위해서는 엽록소함량 외의 다양한 생리적 반응 요소의 분석이 필요하다.

인용문헌

- Agastian, P., S.J. Kingsley and M. Vivekanandan(2000) Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*. 38: 287-290.
- Bae, J.J., Y.S. Choo, J.A. Kim, K.S. Roh, J.S. Song and S.D. Song(2003) Effects of nitrogen application on the patterns of amino acids, nitrogen contents and growth response of four legume plants under saline conditions. *Korean J. Ecol.* 26(3): 135-142. (in Korean with English abstract)
- Bae, Y.H. and D.K. Lee(2001) Plant species selection program for ecological restoration of coastal reclaimed land -Focused on the dumped soil area at Incheon Airport-. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 4(3): 66-74. (in Korean with English abstract)
- Byun, J.K.(2004) Soil environment change and growth of transplanted trees by soil covering depths in coastal reclaimed land. Ph. D. Dissertation, Konkuk Univ., Korea. 161pp. (in Korean with English abstract)
- Cho, J.W. and C.S. Kim(1998) Effect of NaCl concentration on photosynthesis and mineral content of barley seedlings under solution culture. *Kor. J. Crop Sci.* 43: 152-156. (in English)
- Choi, M.G.(1986) Characteristics of salt tolerance in Tree species (I) -Relationship between tree species distribution and soil salt concentration in east coastal forest-. *J. Korean For. Soc.* 73: 1-8. (in Korean with English abstract)
- 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 on 'Sunburst' mandarin grafted on different rootstocks. *Plant Sci.* 162: 705-712. (in English)
- Ghoulam, C., A. Foursy and K. Fares(2002) Effects of salt stress on growth, inorganic ions, and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environ. Exp. Bot.* 47: 39-50.
- Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam(1979) A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany.* 57: 1332-1334.
- Kelsey, P. and R. Hootman(1990) Soil resource evaluation for a group of sidewalk stress tree planters. *Journal of Arboriculture.* 16: 113-117.
- Khavarinejad, R.A. and N. Chaparzadeh(1998) The effects of NaCl and CaCl₂ on photosynthesis and growth of alfalfa plants. *Photosynthetica.* 35: 461-466.
- Kim, D.G and J.M. Park(2004) The Physico-chemical Properties of the Soil at the Grounds of Replanted *Zelkova serrata* (Thunberg) Markino in Reclaimed Land from the Sea, Gwangyang Bay. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture.* 31(6): 85-94. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.G.(2006) Tree-Ring Growth Characteristics of *Zelkova serrata* Makino after Replanting on the Reclaimed Land from the Sea in Gwangyang Bay. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture.* 33(6): 40-50. (in Korean with English abstract)
- Koca, H., Bor, M., Özdemir, F. and I. Türkan(2007) The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of Sesame cultivars. *Environmental and*

- Experimental Botany. 60: 344-351.
- Koh, D.S., K.H. Kim, H. Wi and K.S. Han(1984) Synthetic studies on the agricultural development of reclaimed land - Selection of some nonhalophyte species fit for saline area at Gehwa reclaimed land-. Bulletin of the Aricultural College, Chonbuk National University. 15: 41-47. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Research Institute(2000) Restoration and management of forest in environmentally damaged areas, pp. 119-155. (in Korean with English abstract)
- Lichtenthaler, H.K.(1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology. 148: 350-382.
- Lopez, M.V. and S.M.E. Satti(1996) Calcium and potassium- enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. Plant Sci. 114: 19-27.
- Misra, N. and A.K. Gupta(2005) Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. Plant Sci. 169: 331-339.
- Oh, H.Y. and B.K. Choi(2001) Fundamental landscape research and technology of the coastal reclaimed land for environmental restoration and construction. Jokyong, 299pp. (in Korean)
- Oh, K.K., Y.A. Kim, K.S. Kim and H.K. Shin(2005) Growth and Ion Balance of Carnation under Salt Stress. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 46(6): 380-384. (in English)
- Parida, A.K., A.B. Das and P. Das(2002) NaCl stress causes changes in photosynthesis pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. J. Plant Biol. 45: 28-36. (in English)
- Park, E.J.(2005) Effects of NaCl on the growth and the physiological responses of Green Pepper 'Nokwang' and Bell Pepper 'Newace'. Ph. D. Dissertation, Gyeongsang Nat. Univ., Korea, 96pp. (in Korean with English abstract)
- Park, H.S., S.S. Lee and S.C. Lee(2003) Physiological Characteristics and Death Rate of Planted Trees in Reclaimed Seaside Areas. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture. 31(2): 94-101. (in Korean with English abstract)
- SAS Institute Inc.(2000) SAS/STAT User's guide, Version 8.0, Cary, NC.
- Sifora, M.I. and L. Postiglione(2002) The effect of increasing NaCl in irrigation water on growth, gas exchange, and yield of tobacco burley type. Field Crops Res. 74: 81-91.
- Sixto, H., J.K. Grau, N. Alba and R. Alia(2005) Response to sodium chloride in different species and clones of genus *Populus* L. Forestry. 78(1): 93-104.
- Song, K.j., S.H. Han and T.J. Ha(2003) Changes of Physiological Properties of *Zelkova serrata* to NaCl Concentration in soil. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 5(3): 166-171. (in Korean with English abstract)