

간척지 자생 버드나무의 NaCl 농도별 생육반응

여진기* · 박정현 · 구영본 · 김현철 · 신한나

국립산림과학원 산림자원육성부

Effects of NaCl Concentration on the Growth of Native Willow Species Collected in a Coastal Reclaimed Land

Jin-Kie Yeo*, Jung-Hyun Park, Yeong-Bon Koo, Hyun-Chul Kim, and Hanna Shin

Department of Forest Resources Development, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

This study was conducted to investigate the potentials for the forest restoration on reclaimed land by using willow trees (*Salix koreensis* Anderson) selected from a coastal reclaimed land made in inside of the Sihwa tide embankment. We first collected six individual willow trees that were the only tree species grown in the reclaimed land. Total 7 clones from cuttings of the collected trees and the control were grown in a greenhouse for two months prior to applying the different concentrations of NaCl solutions (0.0%, 0.1%, 0.5% and 1.0%). One month after the NaCl application, the survival rates of clones from both the collected trees, and the control were significantly decreased in a NaCl dose-dependent manner. However, there was no significant difference between the collected trees and the control in terms of survival rate, height and diameter of cuttings, and the numbers of leaves in greenhouse condition. In conclusion, the willow trees collected from the coastal reclaimed land showed no tolerance against NaCl compared to the control grown in ordinary soil, suggesting that further study is required to determine what the most important factor is to select salt tolerant tree species.

Key words: *Salix koreensis*, Clone, NaCl, Salt-resistance, Cation content, Growth response

서 언

식물의 염분에 의한 피해는 증발량이 강우량 보다 많을 때 표토의 염류집적에 의해 발생하며 지구상에 염해를 입는 지역의 면적은 약 8억ha에 이른다 (FAO, 2005). 우리나라의 경우 강우량이 많아 토양의 염류 집적에 따른 식물의 피해는 해안, 간척지 농경지, 시설 재배지를 제외하고는 심각하지 않다 (Choung et al., 2002). 염분에 의한 식물의 피해는 수분결핍, 이온 독성, 이온 불균형, 이들 간의 복합적인 상호작용에 의해 나타난다 (Wang et al., 1997). 또한 토양 내 Na^+ 농도가 높을 때 토양입자들의 입단이 불량하게 되어 토양 공극이 형성되지 못하고 투수성과 통기성이 불량하게 됨으로서 식물 생육이 나빠진다.

식물 내염성에 대한 연구는 다양하게 수행되어왔다. Greenway and Munns (1980) 는 토양 용액 중 NaCl 함량이 높으면 식물 세포내 Na^+ 이 축적되고, 이로 인해

원형질이나 엽록체내의 여러 가지 효소 활성이 저해됨으로서 대사계 전체의 활성이 감소되고 식물의 생육이 저해된다고 하였다. 또한 Ungar (1996)는 식물체내 Na^+ 의 함량이 높아질수록 K^+ 의 함량이 급격히 줄어든다고 하였으며, Wang (1997) 등은 NaCl 처리에 따른 엽면적의 감소는 K^+ 의 흡수장애에 의한 것이며 처리농도가 높아질수록 Na^+ 와 K^+ 사이에는 경쟁적인 흡수작용이 일어난다고 보고한 바 있다. 그 밖에 염습지에서 식물의 종별 생장에 미치는 염분의 영향 (Phleger, 1971), 몇 가지 식물 유묘의 염분에 대한 성장반응에 대한 연구 (Seneca, 1972), 벼 (Choi et al., 2004; Choung et al., 2002; Eun, 2004; Lee et al., 1999; Shannom et al., 1998; Shin et al., 2004; Song et al., 2007; Zeng et al., 2003.), 목화 (Leidi and Saiz, 1997), 멜론 (Yermiyahu et al., 1997), 사탕무 (Ghoulam et al., 2002), 기타 밭작물 (Lee et al., 2003), 유칼립투스 (Adams et al., 2005), 포플러 (Wang et al., 1997; Yeo et al., 1999) 등 다양하게 수행되어 왔다.

국토면적에 비해 경작지가 상대적으로 부족한 우리나라는 이를 해결하기 위해 지속적으로 간척지를 조성해 왔지만 (Park and Kim, 2005) 높은 염분함량으로 인

접수 : 2009. 11. 3 수리 : 2010. 4. 9

*연락처 : Phone: +82312901115

E-mail: jkyeo@forest.go.kr

해 작물 재배가 불가능하여 대부분이 방치되고 있다. 이러한 간척지를 녹화한다면 환경복원 차원에서 뿐만 아니라 탄소흡수원을 확보하는데 많은 기여를 할 수 있을 것으로 생각된다. 이를 위해서는 간척지에 잘 적응하고 생장과 바이오매스 생산능력이 우수한 수종의 육종이 선행되어야 한다.

오염물질에 대한 내성 유전형질을 가진 식물들은 일반 식물에 비하여 독성 이온을 배제할 수 있는 능력이 탁월한 것으로 알려져 있다 (Gucci and Tattini, 1997). 또한 같은 종이면서도 교란된 입지에서 생육하는 개체는 일반 입지의 개체에 비해 유사한 오염환경에서 적응할 수 있는 유전적 소질을 보유하고 있을 가능성이 높다.

버드나무는 대표적인 속성수종으로 포플러와 더불어 phytoremediation에 보편적으로 이용되어 왔으며 양분 요구도가 높은 수종이다 (Licht and Isebrands, 2005). 버드나무는 토양의 EC 4-8 dS m⁻¹ 범위까지 생육이 가능한 것으로 알려져 있고 (Kratsch et al., 2008), 맹아 발생 및 바이오매스 생산능력이 우수하여 다른 수종에 비해 많은 양의 염분을 수체 내에 축적할 수 있으므로 간척지의 제염과 복원에 적합한 수종이다.

본 연구는 토양 염도가 높은 염분이 높은 간척지에서 자생하는 버드나무를 삼목증식하여 염분 처리를 통해 내염성 범위를 구명하여 간척지의 복원을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

공시재료 및 NaCl 처리 경기도 화성시 시화호간척지의 토양 염분농도 약 0.3% 지역에 자생하는 버드나무 (*Salix koreensis* Anderson) 6개체로부터 1년생 가지를 공시재료로 사용하였으며 약 10 cm 길이로 잘라 2008년 4월 2일 모래와 황토가 3:1 비율로 채워진 직경 15 cm, 높이 20 cm의 원형 화분에 삼목을 통해 클론 증식하였다. 증식한 6클론에 대해 G1~G6으로 번호를 부여하였으며 비교 수종으로 경기도 수원시 호매실동의 일반입지에 자생하는 버드나무 수종 (*Salix koreensis* Anderson) 1개체 (H1)를 동일한 방법으로 증식하였다 (Table 1). 충분히 활착되었다고 판단되는 2개월 후인

6월 3일부터 7월 5일까지 NaCl 용액을 처리하였으며 각 처리구에서 클론별로 3본씩 3반복을 두었다. 처리농도는 NaCl 0.1%, 0.5%, 1.0% 처리구와 지하수만을 관수한 무처리구로 구분하여 매일 오전 9시에 각각의 묘목에 대하여 250 ml씩 관수하였다. 이 양은 화분의 토양이 과습하지 않고 충분히 젖을 수 있는 정도의 양이었다.

Table 1. List of willow clones used for this experiment.

| Species | Clone | No. of cutting | Collected site |
|------------------------------------|-------|----------------|--------------------------|
| <i>Salix koreensis</i> Anderson | G1 | 36 | Costal reclaimed land |
| | G2 | 36 | |
| | G3 | 36 | |
| | G4 | 36 | |
| | G5 | 36 | |
| | G6 | 36 | |
| | H1 | 36 | Forest land |

생장조사 NaCl 처리에 따른 버드나무의 묘고, 근원경, 생존율은 실험 전·후에 조사하였으며 엽수는 실험 종료 시까지 총 4회에 걸쳐 조사하였다.

수체분석 실험에 사용된 묘목은 실험 종료 후 채취하여 건조기에 넣고 80°C에서 72시간 이상 건조한 후 줄기와 뿌리로 나누어 분쇄하였다. 분쇄한 시료는 토양 및 퇴비 분석법 (GARES, 2008)에 따라 양이온 (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) 함량을 측정하였다.

토양분석 버드나무가 분포한 시화호간척지 토양의 특성을 알아보기 위해 버드나무가 자생하는 지점과 식생이 없는 지점의 표토를 채취하여 풍건한 후 2 mm 체를 통과시킨 것을 시료로 사용하였다. 조사 항목은 토양 pH, EC, OM, T-N, 유효인산, 양이온 (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) 함량 등이며 토양 및 퇴비분석법 (GARES, 2008)에 의하여 분석하였다. 버드나무 자생지의 토양의 염분농도는 약 0.3%로 무식생지 약 5.5%에 비해 현저히 낮은 상태였다 (Table 2). 또한 삼목에 이용한 배양토를 실험 전, 후에 채취하여 간척지 토양분석과 같은 방법으로 NaCl 처리에 따른 화학적 특성 변화를 조사하였다.

Table 2. Soil chemical properties at willow distribution and no vegetation area of coastal reclaimed land.

| Site | pH | EC | OM | Av. P ₂ O ₅ | T-N | Ex. cation | | | |
|--------------------------|-------|--------------------|-------|-----------------------------------|-------|--|-----------------|------------------|------------------|
| | | | | | | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
| | 1:5 | dS m ⁻¹ | % | mg kg ⁻¹ | % | ----- cmol _c kg ⁻¹ ----- | | | |
| Willow distribution area | 7.3b* | 5.3b | 1.04a | 9.7b | 0.05a | 0.72b | 4.48b | 1.80a | 2.96b |
| No vegetation area | 7.7a | 86.5a | 0.58a | 36.5a | 0.02a | 2.74a | 50.46a | 1.40a | 16.38a |

* Different letters indicate significant differences at p<0.05.

통계분석 버드나무 클론간 생장, 활착율 및 토양의 화학적 특성에 대한 분산분석과 토양 의 양이온간 상관 분석은 SAS/STAT (ver. 6.12, SAS Institute Inc., 1996) 프로그램을 통해 수행되었다.

결과 및 고찰

묘고 및 근원경 생장 NaCl 0.1% 처리구에서 묘고 생장은 G5 클론이 우수하였고, 근원경 생장은 G6 클론이 우수한 것으로 나타났다 (Table 3). 지하수 처리구와 NaCl 0.1% 처리구 간에 묘고와 근원경 생장량은 큰 차이가 없는 것으로 보아 버드나무의 경우 NaCl 0.1% 처리시 특별한 염분피해가 없는 것으로 생각된다.

는 삼투압에 의한 수분소실로 오히려 근원경이 줄어들었다. NaCl 1.0% 처리구의 경우 실험 초기부터 꾸준히 근원경이 줄어들어 성장하지 않은 것으로 간주하였다. 비교수종인 H1의 경우 묘고와 근원경 생장을 볼 때 NaCl 0.1%, 0.5% 처리구, 지하수 처리구에서 평균치를 웃돌았으며 피해 양상은 간척지 자생 버드나무 클론들과 유사하였다.

엽수 NaCl 처리 종료후인 7월 5일 조사한 엽수는 처리간 ($F=469.43, P<0.01$), 클론간 ($F=15.00, P<0.01$)에 고도의 유의차를 보였다. 전체 묘목에 대한 실험 기간 동안 지하수 처리구와 NaCl 0.1% 처리구는 엽수가 꾸준히 증가하였다 (Fig. 1). NaCl 0.1% 처리구에서는

Table 3. Height (cm), and diameter growth (cm) at root collar of 7 willow clones after different salinity treatments.

| Clones | NaCl concentration | | | | | | | |
|--------|--------------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|
| | 1.0% | | 0.5% | | 0.1% | | 0.0% | |
| | Height | Diameter | Height | Diameter | Height | Diameter | Height | Diameter |
| G1 | 1.9b* | 0.00a | 11.9b | 0.21ab | 21.2d | 0.58c | 24.9bc | 0.82abc |
| G2 | 2.6b | 0.00a | 17.8a | 0.60a | 29.3bc | 0.76c | 27.6bc | 0.69bc |
| G3 | 2.2b | 0.00a | 5.3c | 0.58b | 12.2e | 0.69c | 11.3d | 0.57c |
| G4 | 4.9a | 0.00a | 16.8a | 0.57a | 23.3cd | 0.78bc | 21.0c | 0.98ab |
| G5 | 5.0a | 0.00a | 18.1a | 0.13ab | 41.2a | 1.22ab | 39.2a | 1.30a |
| G6 | 4.6a | 0.00a | 20.9a | 0.61a | 31.4b | 1.38a | 31.0b | 1.37a |
| H1 | 2.3b | 0.00a | 16.7a | 0.57a | 32.2b | 1.26a | 29.7b | 1.19ab |
| Mean | 3.3 | 0.00 | 15.4 | 0.47 | 27.3 | 0.95 | 26.4 | 0.99 |

* Different letters indicate significant differences at $p<0.05$.

이는 포플러류 5수종의 NaCl 0.1% 처리구에서 대조구에 비해 묘고와 근원경 생장량이 감소했다는 Yeo et al. (1999)의 보고와 다른 결과이며 이러한 차이는 처리방법과 수종간의 차이에서 기인한 것으로 판단된다. NaCl 0.5% 처리구에서 묘고 생장량은 지하수 처리구에 비해 43.8% 감소하였다. 초기 2주 동안은 정상적인 생육을 하였으나 그 이후에 생장이 급격히 저하되어 3주 이후에는 더 이상 생장의 변화가 없었다. 이는 NaCl 0.5% 용액을 관수했을 때 토양 완충작용으로 초기에는 염류 집적 피해가 없었으나 2주후에 본격적으로 진행된 것으로 추정된다. NaCl 1.0% 처리구의 경우 묘고 생장은 지하수 처리구에 비해 87.5% 감소하였다. 평균 묘고 생장량이 3.3 cm로 지하수 처리구의 일평균 생장량이 0.8 cm임을 감안할 때 약 4~5일 정도에 생장이 멈춘 것으로 판단된다. 근원경 생장량은 NaCl 0.5% 처리구가 지하수 처리구에 비해 52.5% 감소하였다. 생장 양상은 묘고와 마찬가지로 3주까지는 증가하였으나 4주째에

세포내 Na^+ 농도 증가에 의한 원형질이나 엽록체내의 효소활성 저하 (Greenway and Munns, 1980)등의 피해 없이 모든 클론이 정상적인 생육을 한 것으로 생각된다. NaCl 0.5% 처리구는 처음에는 엽수가 약간 증가하였다. 그러나 실험시작 2주 후부터 옥수수 등 발작물과 포플러에서 이미 보고된 성숙엽의 황화현상 (Miller and Donahue, 1990; Yeo et al., 1999)과 유사한 반응을 보이면서 엽수가 점차 감소하였다. 특히 G3의 경우 피해가 가장 심각하여 실험 종료시에는 잎이 개체당 평균 4장 정도만이 남아있었다. 이는 다른 클론에 비해 상대적으로 생장이 느려서 충분한 활착이 되지 않았기 때문인 것으로 추정된다. NaCl 1.0% 처리구는 실험시작 5일후부터 잎이 시들면서 떨어지기 시작하여 실험 종료시에는 모든 수종에서 잎이 거의 남아 있지 않았다. 또한 잎이 다 떨어진 개체의 가지는 대부분이 위에서부터 마르기 시작하였다.

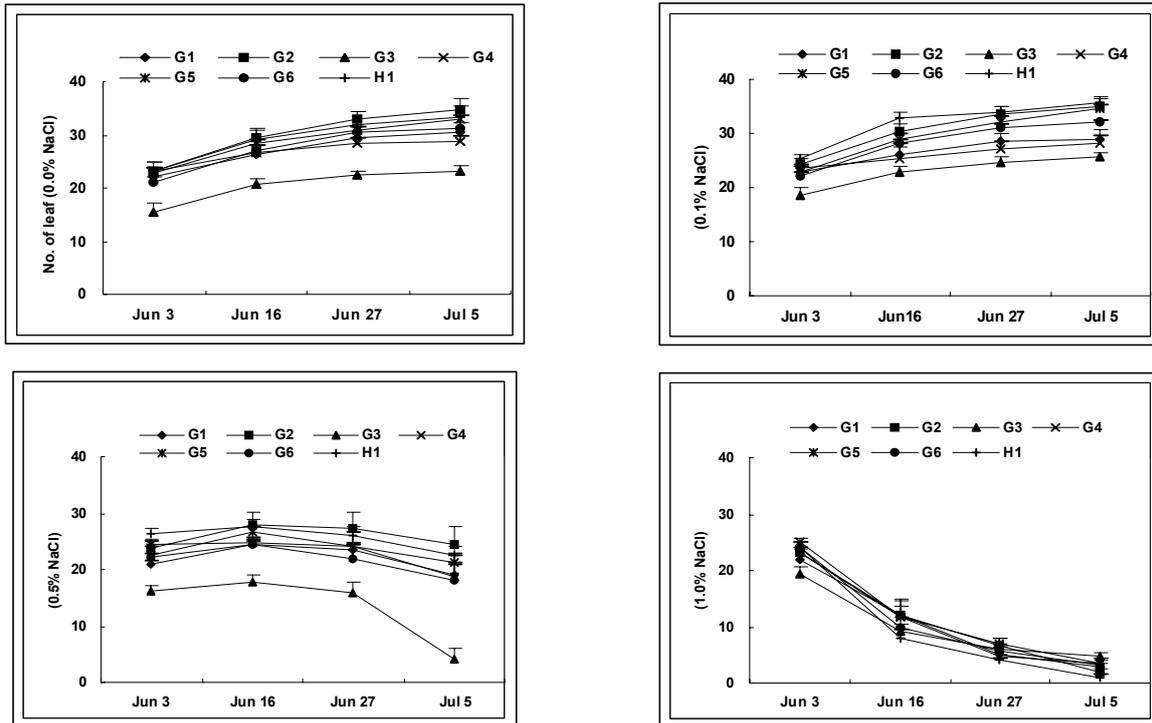


Fig. 1. Changes in number of leaf of 7 willow clones with different salinity treatments.

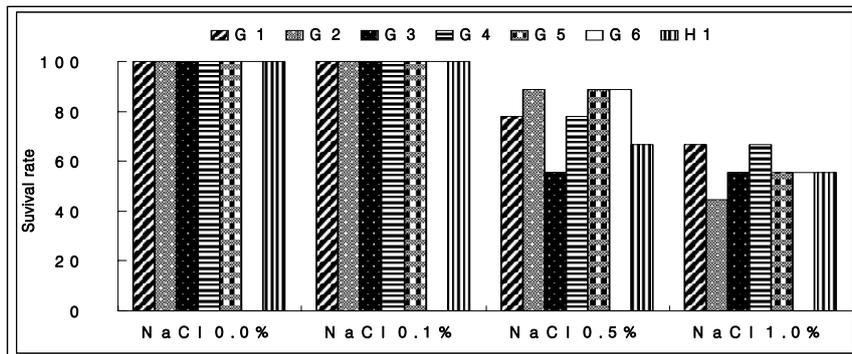


Fig. 2. Survival rate (%) of 7 willow clones with different salinity treatments.

생존율 생존율은 염해지역의 복원을 위한 수종 선정시 가장 중요한 인자중의 하나이다. 실험 종료후 2008년 7월 5일 조사한 생존율에 대하여 처리별로는 통계적으로 유의한 차이 ($F=49.97, P<0.001$)를 나타낸 반면, 클론별로는 유의한 차이를 보이지 않았다. 지하수 처리구와 NaCl 0.1% 처리구는 둘 다 100%로 우수하였다 (Fig. 2). 포플러 (Yeo et al., 1999)와 벚 (Choung et al., 2002; Lee et al., 1997)에서 NaCl 0.1~0.2%에서 생육에 영향을 미친다는 보고와 달리 본 실험에서는 특별한 피해증상을 발견할 수 없었다. 그러나 NaCl 0.5% 처리구는 평균 생존율 77.8%, NaCl 1.0% 처리구는 57.2%로 지하수를 관수한 대조구에 비해 낮았지만 비교적 높은 수준이었다. 이는 맹아력이 우수한 버드나무의 특성을 감안하여 가지의 일부가 피해를 받아도 눈 (bud)이 살아있으면 생존한 것으로 간주했기 때문이다.

NaCl 0.5% 처리구에서는 G2, G5, G6 클론이 생존율 88.9%로 우수하였고 1.0% 처리구에서는 G1, G4 클론이 66.7%로 우수한 것으로 나타났다. 비교수종인 H1의 경우도 다른 클론들과 비슷한 양상을 보였다. 본 실험은 유리온실에서 이루어져 여름철 고온에 의한 성장저하 및 기타 피해가 우려되어 실험 기간이 짧았지만 실험 종료 후 수체분석을 위해 sample 채취를 하고 비교적 활력이 우수한 개체들은 지하수만 관수하고 2개월 이상 모니터링을 하였다. 그 결과 지하수 처리구와 NaCl 0.1% 처리구는 생존율 100%를 유지하였지만 NaCl 0.5% 처리구는 90% 이상이 고사하였고 1.0% 처리구는 모두 고사하였다. 이를 볼 때 버드나무는 맹아력이 우수하고 적응성이 높은 수종이지만 염분이 높은 지역에서 일단 피해를 받으면 다시 활력을 찾기 힘든 것으로 판단된다. 또한 NaCl 0.1%와 0.5% 사이에 0.1%단위 처리의 세밀

Table 4. Cation contents (mg kg^{-1} , dry weight) with different salinity treatments.

| Clone | Stem | | | | | | | |
|-------|--|---------|----------|----------|--|----------|----------|---------|
| | Na^+ (mg kg^{-1}) | | | | K^+ (mg kg^{-1}) | | | |
| | NaCl concentration | | | | NaCl concentration | | | |
| | 0.0% | 0.1% | 0.5% | 1.0% | 0.0% | 0.1% | 0.5% | 1.0% |
| G1 | 367a | 1,180a | 13,483b | 25,835ab | 5,412a | 5,762a | 7,222b | 6,358b |
| G2 | 504a | 376a | 6,230b | 40,700a | 6,157a | 4,022bcd | 6,960b | 7,926a |
| G3 | 440a | 364a | 28,193a | 35,491a | 6,325a | 3,627dc | 4,461b | 5,447b |
| G4 | 281a | 425a | 7,274b | 31,787ab | 5,782a | 3,552d | 7,422b | 5,209b |
| G5 | 213a | 158a | 15,811b | 21,039b | 5,414a | 5,059ab | 8,056ab | 6,232b |
| G6 | 139a | 418a | 5,619b | 26,502ab | 6,436a | 4,928abc | 7,428b | 8,663a |
| H1 | 755a | 573a | 16,901ab | 35,659a | 6,773a | 4,911abc | 7,508a | 6,030b |
| Mean | 386a | 499 | 13,358 | 31,002 | 6,043 | 3,850.01 | 7,008 | 6,552 |
| Clone | Mg^{2+} (mg kg^{-1}) | | | | Ca^{2+} (mg kg^{-1}) | | | |
| | NaCl concentration | | | | NaCl concentration | | | |
| | 0.0% | 0.1% | 0.5% | 1.0% | 0.0% | 0.1% | 0.5% | 1.0% |
| | G1 | 580b | 716b | 414b | 510b | 7,268b | 7,078c | 5,801de |
| G2 | 665b | 823ab | 814b | 1,007a | 9,884ab | 8,862a | 7,577bcd | 7,276b |
| G3 | 958a | 1061a | 1,158a | 1,007a | 11,180a | 10,102a | 8,206abc | 8,066b |
| G4 | 719b | 539b | 568b | 1,093a | 8,253b | 6,102c | 5,186e | 5,548c |
| G5 | 842b | 728b | 836b | 883a | 10,740a | 9,767ab | 9,598a | 8,117b |
| G6 | 701b | 611b | 600b | 871a | 9,260ab | 7,953bc | 7,359cde | 7,541b |
| H1 | 866b | 1,078a | 777b | 926a | 11,056a | 10,327ab | 9,742ab | 8,520a |
| Mean | 761 | 794 | 738 | 910 | 9,663 | 8,599 | 7,638 | 7,128 |
| Clone | Root | | | | | | | |
| | Na^+ (mg kg^{-1}) | | | | K^+ (mg kg^{-1}) | | | |
| | NaCl concentration | | | | NaCl concentration | | | |
| | 0.0% | 0.1% | 0.5% | 1.0% | 0.0% | 0.1% | 0.5% | 1.0% |
| G1 | 164b | 646bc | 1,124a | 6,622ab | 4,402a | 4,604a | 5,129a | 459b |
| G2 | 317b | 458c | 1,457a | 4,475b | 6,165a | 4,895a | 5,217a | 1,270a |
| G3 | 1,168a | 2,032a | 3,161a | 6,747ab | 6,076a | 3,626b | 3,206a | 493b |
| G4 | 548b | 1,138bc | 4,540a | 8,082a | 6,732a | 5,146a | 6,208a | 457b |
| G5 | 151b | 939bc | 4,710a | 9,777a | 4,127a | 4,534a | 6,569a | 343b |
| G6 | 300b | 1,734bc | 2,395a | 9,690a | 5,278a | 4,859a | 2,793a | 525b |
| H1 | 445b | 947bc | 936a | 2,771b | 5,255a | 4,464a | 5,585a | 152b |
| Mean | 442 | 1,128 | 2,618 | 6,881 | 5,434 | 4,590 | 4,958 | 528 |
| Clone | Mg^{2+} (mg kg^{-1}) | | | | Ca^{2+} (mg kg^{-1}) | | | |
| | NaCl concentration | | | | NaCl concentration | | | |
| | 0.0% | 0.1% | 0.5% | 1.0% | 0.0% | 0.1% | 0.5% | 1.0% |
| | G1 | 1,599ab | 1,676a | 1,150a | 686b | 6,785a | 5,583a | 5,311a |
| G2 | 1,377abc | 1,108b | 1,009a | 968a | 6,805a | 6,842a | 7,779a | 5,567a |
| G3 | 829d | 656c | 816a | 631b | 5,417a | 5,149a | 5,862a | 4,084bc |
| G4 | 1,828a | 1,418ab | 948a | 585b | 7,760a | 5,327a | 8,731a | 5,135bc |
| G5 | 1,751ab | 1,358ab | 1,159a | 882b | 6,747a | 5,152a | 8,037a | 7,712b |
| G6 | 1,360bc | 999b | 978a | 541b | 5,659a | 4,394a | 7,600a | 4,928bc |
| H1 | 541dc | 1,069b | 1,014a | 241b | 4,928a | 7,324a | 4,645a | 7,173c |
| Mean | 1,326 | 1,183 | 1,011 | 648 | 6,300 | 5,682 | 6,852 | 5,506 |

* Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$.

한 연구를 통해 버드나무의 내염성 한계에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

수체분석 실험 종료 직후 식물체를 수확하여 가지와 뿌리로 나누어 양이온 함량을 분석하였다 (Table 4). NaCl 처리에 따른 줄기의 Na^+ 함량은 클론간 ($F=2.96$, $P<0.05$) 및 처리간 ($F=122.32$, $P<0.001$)에 통계적인 차이를 보였으며, 뿌리의 Na^+ 함량도 클론간 ($F=6.23$, $P<0.001$) 및 처리간 ($F=62.89$, $P<0.001$)에 차이를 보였다. NaCl 처리농도가 높아짐에 따라 식물 체내 Na^+ 함량은 높아지는 경향을 보였으며 0.1% 처리구는 지하수 처리구와 차이가 없었다. Na^+ 이온은 식물의 염해를 일으키는 주요한 원인이며 이로 인한 삼투압의 불균형이 생육장애를 일으킨다 (Gosta et al., 1996). 버드나무의 Na^+ 축적은 뿌리보다 줄기에 더 많은 것으로 나타났으며 클론간 차이가 있었다. K^+ 함량도 줄기의 클론간 ($F=2.95$, $P<0.05$) 및 처리간 ($F=6.96$, $P<0.001$)과 뿌리의 클론간 ($F=3.22$, $P<0.01$) 및 처리간 ($F=5.78$, $P<0.01$)에 통계적인 차이를 보였으며 특히 뿌리에서의 K^+ 의 함량은 NaCl 처리농도가 높아질 수록 낮아지는 경향을 보였고, 이러한 경향은 Yeo 등 (1999)의 포플러에 대한 NaCl 처리실험과는 유사한 경향을 보였다. 특히 1.0% 처리구의 뿌리에서는 K^+ 함량이 매우 현격히 낮아지는 특성을 나타냈다. 이는 Na^+ 와 K^+ 의 길항작용에 의한 결과로 추정된다 (Tagawa and Ishizaca, 1963). Mg^{2+} 함량은 줄기 ($F=12.26$, $P<0.001$)와 뿌리 ($F=8.96$, $P<0.001$)에서 클론간에 차이를 보였다. Ca^{2+}

함량도 줄기의 클론간 ($F=22.05$, $P<0.001$) 및 처리간 ($F=12.52$, $P<0.001$)과 뿌리의 클론간 ($F=7.59$, $P<0.001$) 및 처리간 ($F=7.73$, $P<0.001$)에 통계적인 차이를 보였으며, Ca^{2+} 함량은 줄기에서는 처리농도가 높아질수록 낮아지는 경향이 나타났다. Ca^{2+} 이온은 식물체 뿌리의 성장점 세포의 신장에 영향을 미치는데 (Kramer and Kozlowski, 1979) 버드나무의 경우 뿌리보다는 줄기에서 더 많은 흡수장애를 받은 것으로 생각된다.

배양토의 화학적 특성 변화 토양 pH는 NaCl 0.1% 처리구와 0.5% 처리구에서 약간 높게 나타났으나 큰 변화는 없었다 (Table 5). 전기전도도 (EC)는 NaCl 0.1% 처리구와 지하수 처리구가 유사하게 나타났으나, 다른 처리구에서는 처리농도가 높을수록 높게 나타났다. Na^+ 함량은 처리농도가 높아질수록 높게 나타났으나 나머지 양이온들 (Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+})은 NaCl 처리농도가 높아짐에 따라 낮아지는 경향을 보였으며 유의한 차이가 있었다. NaCl 처리농도와 배양토의 양이온 함량간의 상관분석 결과는 Table 6과 같다. 전기전도도와 Na^+ 함량은 처리농도가 높아짐에 따라 정의 상관관계를 보였으나 Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} 이온의 경우 부의 상관관계를 나타냈다. 이는 NaCl 처리로 인해 Na^+ 이온이 토양 중에 축적됨에 따라 나머지 이온들이 용탈되어 이온간 불균형이 생기고 버드나무의 흡수에도 영향을 미친 것으로 생각된다. 또한 K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} 이온 간에는 정의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 여기서 주목할 점은 배양토에서는 이온들 간의 뚜렷한 상관관계가 나타나지만

Table 5. Chemical characteristics in cultured soil after experiment.

| Treatment | pH | EC | Ex. cation | | | |
|-----------|-----|--------------------|------------------------------------|------------------|--------------|---------------|
| | | | Ca^{2+} | Mg^{2+} | K^+ | Na^+ |
| | 1:5 | dS m^{-1} | cmol _c kg ⁻¹ | | | |
| NaCl 0.0% | 6.4 | 0.27c* | 2.84a | 0.58a | 0.12a | 0.13c |
| NaCl 0.1% | 6.8 | 0.30c | 2.36b | 0.44b | 0.09b | 0.74c |
| NaCl 0.5% | 6.7 | 2.30b | 1.32c | 0.25c | 0.09b | 2.56b |
| NaCl 1.0% | 6.4 | 8.13a | 0.50d | 0.08d | 0.07b | 8.33a |

* Different letters indicate significant differences at $p<0.05$.

Table 6. Correlations among soil chemical characteristics, and NaCl concentrations.

| Traits | NaCl | EC | Na^+ | Mg^{2+} | K^+ |
|------------------|---------|---------|---------------|------------------|--------------|
| EC | -0.96** | | | | |
| Na^+ | -0.95** | -0.97** | | | |
| Mg^{2+} | -0.94** | -0.86** | -0.87** | | |
| K^+ | -0.51* | -0.46* | -0.51* | -0.60** | |
| Ca^{2+} | -0.94** | -0.87** | -0.86** | -0.98** | -0.54* |

* and ** indicate significance at $P<0.05$, and $P<0.01$ level, respectively.

식물체내에서는 토양과 비슷한 경향을 보인 것도 있지만 다른 경향을 나타내는 것도 있다는 점이다. 이러한 생리적 메커니즘은 차후에 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구는 간척지에 자생하는 버드나무 (*Salix koreensis* Anderson)를 대상으로 염분에 대한 내성의 범위를 조사하기 위해 수행되었다. 간척지에서 선발된 버드나무 6개체의 가치를 잘라 온실에서 삼목하여 2개월이 경과한 다음부터 NaCl 0.1%, 0.5%, 1.0% 용액과 지하수를 1개월간 관수하면서 재배하였다. 0.1% 및 지하수 처리구에서 전체 묘목의 생존율은 100%인 반면 0.5% 및 1.0% 처리구에서는 각각 73.2% 및 58.8%로 감소하였다. 0.1%와 지하수 처리구간의 묘고와 근원경 생장은 차이를 보이지 않았고 엽수는 실험기간동안 꾸준히 증가하는 경향을 보였다. 반면 0.5% 및 1.0% 처리구에서 묘고 생장은 지하수 처리구에 비해 각각 43.8% 및 88.9% 감소하였다. 0.5% 및 1.0% 처리구 묘목의 잎은 스트레스로 갈변하고 조기 낙엽되었다. 본 연구에 사용된 버드나무는 온실에서의 NaCl 처리결과 해안간척지에서 자생하는 개체임에도 불구하고 일반 임지에서 자생하는 버드나무보다 염분에 대한 내성 능력이 크지는 않은 것으로 추정된다.

인 용 문 헌

- Adams, M.A., A. Richter, A.K. Hill, and T.D. Colmer. 2005. Salt tolerance in *Eucalyptus* spp.: identity and response of putative osmolytes. *Plant Cell Environ.* 28:772-787.
- Choi, S.H., H.I. Kim, Y.Ahn, J.R. Jang, and J.M. Oh. 2004. Salinity effects on growth and yield components of rice. *Korean J. Limnol.* 37:248-254.
- Choung, J.I., J.C. Ko, S.Y. Lee, T.O. Kwon, and D.J. Lee. 2003. Effects of NaCl treatment on absorption of inorganic nutrients and growth in rice. *Korean J. Crop Sci.* 48:465-468.
- Choung, J.I., S.J. Yu, M.K. Oh, N.H. Beak, J.K. Ko, and J.K. Lee. 2002. Varietal responses of rice growth and yield to soil salt content. *Korean J. Crop Sci.* 47:422-426.
- Eun, J.S. 2004. In vitro selection of salt tolerance by mature embryo culture in *oriza sativa* L. *Bulletin of the agricultural college, Chonbuk National University.* 35:27-34.
- FAO. 2005. Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-affected Soils. Rome, Italy: FAO Land Plant Nutrition Management Service. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>.
- GARES. 2008. Methods of soil and compost analysis. Gyeonggido Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong, Korea.
- 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.
- Gosta, L., H. Niklas, and L. Bulow. 1996. Enhanced NaCl stress tolerance in transgenic tobacco expressing bacterial chorine dehydrogenase. *Bio. Technology* 14:177-180.
- Greenway, H., and R. Munns. 1980. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31:130-149.
- Gucci, R., and M. Tattini. 1997. Salinity tolerance in olive. *Hortic. Rev.* 21:177-214.
- Kramer, P.J., and T.T. Kozlowski. 1979. *Physiology of Woody Plants.* Academic Press Inc. pp811.
- Kratsch H, S. Olsen, L. Rupp, G. Cardon, and R. Heflebower. 2008. *Soil Salinity and Ornamental Plant Selection.* Utah State University. pp8.
- Lee, K.S., S.Y. Choi, and W.Y. Choi. 1999. Salt Tolerance of Rice during Germination and Early Seedling Stages. *Korean J. Breed Sci.* 31:301-305.
- Lee, S.H., B.D. Hong, Y. An, and H.M. Ro. 2003. Relation between growth condition of six upland-crops and soil salinity in reclaimed land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36:66-71.
- Leidi, E.O., and J.F. Saiz. 1997. Is salinity tolerance related to Na accumulation in upland cotton (*Gossypium hirsutum*) seedlings? *Plant Soil.* 190:67-75.
- Linghe Zeng, S.M. Lesch, and C.M. Grieve. 2003. Rice growth and yield respond to changes in water depth and salinity stress. *Agricultural Water Management.* 59:67-75.
- Licht, L.A., and J.G. Isebrands. 2005. Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities. *Biomass Bioenerg.* 28:203-218.
- Miller, R.W., and R.L. Donahue. 1990. *An introduction to soils and plant growth.* Prentice-Hall. 768pp.
- Phleger, C.F. 1971. Effect of salinity on growth of a salt marsh grass. *Ecology.* 52:908-911.
- Seneca, E.D. 1972. Seedling response to salinity in four dune grasses from the outer banks of North Carolina. *Ecology.* 53:465-471.
- Shannon, M.C., J.D. Rhoades, James E. Hill, S.C. Scardaci, and M.D. Spyres. 1998. Assessment of salt tolerance in rice cultivars in response to salinity problems in California. *Crop Sci.* 38:394-398.
- Shin, S.H., Y.M. Lee, and B.H. Cho. 2004. Amino acid

- and protein contents in the seedlings of salt-tolerant and salt-susceptible rice cultivars. Korean J. Breed. 36:320-325.
- Song, J.Y., D.S. Kim, G.J. Lee, I.S. Lee, K.K. Kang, S.J. Yun, and S.Y. Kang. 2007. Characterization of salt tolerant rice mutant lines derived from azetidine-2-carboxylic acid resistant cell lines induced by gamma ray irradiation. J. Plant Biotechnol. 34:61-68.
- Tagwa, T., and N. Ishizaka. 1963. Physiological studies on the tolerance of rice plants to salinity. II effects of salinity on the absorption of water and chloride ion. Jap. J. Crop. Sci. 31:337-341.
- Ungar, I.A. 1996. Effect of salinity on seed germination, growth, and ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae). Am. J. Bot. 83:604-607.
- Wang, L.W., A.M. Showalter, and I.A. Ungar. 1997. Effect of salinity on growth, ion content, and cell wall chemistry in *Atriplex prostrata* (Chenopodiaceae). Am. J. Bot. 84:1247-1255.
- Yeo, J.K., Y.B. Koo, and I.S. Kim. 1999. Effect of NaCl salinity on growth and cationaccumulation of 5 poplar species. Fri J. Forest Sci. 61:9-17.
- Yermiyahu, U., S. Nir, G. Ben-Hayyim, U. Kafkafi, and T.B. Kinraide. 1997. Root elongation in saline solution related to calcium binding to root cell plasma membranes. Plant Soil. 191:67-76.
- 박석두, 김수석. 2005. 휴경농지의 실태와 정책방향. 한국 농촌경제연구원. pp92.