

# 겨울철 염화칼슘( $\text{CaCl}_2$ ) 처리에 따른 가로변 3가지 상록 관목류의 생육 및 생리반응<sup>†</sup> - 사철나무, 영산홍, 회양목을 중심으로 -

주진희\* · 박지연\*\* · 허혜\*\* · 이은엽\*\*\* · 현경학\*\*\* · 정종석\*\*\* · 최은영\*\*\*\* · 윤용한\*

\*건국대학교 녹색기술융합학과 · \*\*건국대학교 산림과학과 대학원 · \*\*\*LH 토지주택연구원 · \*\*\*\*한국방송통신대학교 농학과

## Growth and Physiological Response of Three Evergreen Shrubs to De-icing Salt( $\text{CaCl}_2$ ) at Different Concentrations in Winter - Focusing on *Euonymus japonica*, *Rhododendron indicum*, and *Buxus koreana* -

Ju, Jin-Hee\* · Park, Ji-Yeon\*\* · Xu, Hui\*\* · Lee, Eun-Yeob\*\*\* · Hyun, Kyoung-Hak\*\*\* ·  
Jung, Jong-Suk\*\*\* · Choi, Eun-Young\*\*\*\* · Yoon, Yong-Han\*

\*Dept. of Green Technology Convergence, Konkuk University

\*\*Dept. of Forest Science, Graduate School, Konkuk University

\*\*\*Dept. of Urban Environment Research, Land & Housing Institute

\*\*\*\*Dept. of Agriculture Science, Korea National Open University

### ABSTRACT

It is important to know the sensitivity of shrubs to de-icing salt in order to set guidelines for ecological tolerance of evergreen shrubs along roads. Therefore, the aim of this study was to investigate the influence of de-icing salt, calcium chloride( $\text{CaCl}_2$ ), on the growth and physiological characteristics of three evergreen shrubs, *Euonymus japonica*, *Rhododendron indicum*, and *Buxus koreana*. Plants were exposed to calcium chloride at different concentrations(weight percentage, 0% as control, 1.0%, 3.0%, and 5.0%) through amended soil maintained from the start of the experiment in October of 2014 until termination in March of 2015. The survival rate, plant height, leaf length, leaf width, leaf shape index, number of leaves, fresh weight, dry weight, dry matter, root/top ratio, chlorophyll contents, fluorescence, photosynthesis, stomatal conduct, and transpiration rate were recorded. Elevated calcium chloride concentrations decreased plant height, leaf length, leaf width, leaf shape index, fresh weight, dry weight, dry matter, and R/T ratio of the three shrubs. Root growth responded more sensitively than the top growth to salinity. However *Euonymus japonica* was more tolerant to salt stress than *Rhododendron indicum* and *Buxus koreana*. Their growths were totally inhibited by  $\text{CaCl}_2$  above 3.0% and 1.0% concentrations, respectively. Chlorophyll content, fluorescence, photosynthesis, stomatal conduct, and transpiration rate of both *Rhododendron indicum* and *Buxus koreana* were reduced sharply, while *Euonymus japonica* exhibited mild reductions compared to plants grown in control when increasing calcium chloride was used. Especially, the transpiration rates

<sup>†</sup>: 본 연구는 국토교통부 물관리 연구사업의 연구비지원(12기술혁신C04)으로 수행되었음.

**Corresponding author:** Yong-Han Yoon, Dept. of Green Technology Convergence, Konkuk University, 27478, Korea, Tel.: +82-43-840-3538, Fax: +82-43-851-4169, E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

of *Rhododendron indicum*, and the photosynthesis and stomatal conduct of *Buxus koreana* were suppressed as the concentrations of calcium chloride increased. Therefore, *Euonymus japonica* should be considered as an ecologically tolerant species with proven tolerance to de-icing salt.

**Key Words:** Calcium Chloride, De-icing Salt, Salt Tolerance, Soil-plant Continuum

## 국문초록

본 연구는 도심 내에서 공원 및 가로수 주변에 식재된 대표적인 세 가지 상록 관목류인 사철나무(*Euonymus japonica*), 영산홍(*Rhododendron indicum*), 회양목(*Buxus koreana*) 등을 중심으로 겨울철 염화칼슘(CaCl<sub>2</sub>) 처리에 따른 생육 및 생리적 반응을 살펴봄으로써, 내염성 정도와 제설제 피해지역에 대한 내성수종을 선별하기 위한 자료로 제시하고자 한다. 염화칼슘을 각각 0%(대조구), 0.5%, 1.0%, 3.0%, 5.0% 처리한 실험구에 2014년 11월에 정식한 후 이듬해 이른 봄인 2015년 3월에 수고, 엽장, 엽폭, 엽형지수, 엽수, 생체중, 건조중, 건물률, R/T율, 엽록소함량, 엽록소형광반응, 광합성률, 기공전도도, 증산율 등의 생육 및 생리적 특성을 조사하였다. 사철나무는 3.0% 이하, 영산홍과 회양목은 1.0% 이하의 처리구에서 생존이 가능하였으며, 사철나무가 영산홍과 회양목에 비해 생육적 감소율이 비교적 낮았다. 염화칼슘 처리농도가 높을수록 대조구에 비해 생리적 반응들이 감소되는 것은 동일하나, 영산홍과 회양목은 감소세가 비교적 뚜렷한 반면, 사철나무가 완만한 감소세를 보이고 있다. 특히, 처리농도가 높아짐에 따라 영산홍은 증산율을, 회양목은 광합성율과 기공전도도를 억제시키는 경향을 보였다. 이러한 결과를 통해 사철나무가 영산홍과 회양목에 비해 염해에 좀 덜 민감한 수종임을 알 수 있어 제설제 피해지역에 상록 관목류로 적용이 가능할 것으로 본다.

**주제어:** 제설제, 염화칼슘(CaCl<sub>2</sub>), 내염성, 토양-식물 연속체

## 1. 서론

제설제란 눈이나 얼음을 녹이는 용도로서의 화학약품으로 크게 염화칼슘(CaCl<sub>2</sub>), 염화나트륨(NaCl), 비염화물계 등이 있으며, 우리나라에서는 가격이 비교적 저렴한 염화칼슘을 주로 사용하고 있다(Shin *et al.*, 2001). 최근 기후변화로 인한 폭설로 도로상의 원활한 통행과 보행자의 안전을 위해 사용량이 점차 증가함에 따라, 가로변 주변의 토양을 염류화시킴으로써 식생과 환경에 악영향을 주고 있는 것이 사실이다(Devitt *et al.*, 2014). 세계적으로 토양의 염류화는 비생물학적(abiotic) 스트레스 중 가장 중요한 문제 중 하나이다(Nisha *et al.*, 2013). 특히, 지구의 지표면의 약 7%가 토양 염류화로 진행되고 있으며, 이는 21세기 중반까지 가용토지의 50%를 차지할 것이라는 예측도 있다(Evelin *et al.*, 2009). 실제로, 모스크바 동부지역의 21년간(1989~2010년) 토양 내 염분을 조사한 결과, 평균적으로 약 3.2배로 증가하였으며, 특히 봄철, 주요 고속도로 주변의 토양에서 가장 높은 것으로 조사되었다(Nikiforova *et al.*, 2014). 일반적으로 토양의 염류화가 식물에 미치는 직접적인 영향은 생리장애, 영양불균형, 삼투압포텐셜 감소 등 크게 3가지 측면으로 보고 있다(Nisha *et al.*, 2013). 특히, 염화칼슘의 염화이온은 몇몇 식물에게 독성으로 작용할 뿐 아니라 토양으

로부터 수분과 양분을 흡수하는 식물의 기능을 억제함으로써 건조되는 현상을 가중시킬 수 있다고 보고된 바 있다(Dubuque, 2010). 이에 식물 뿌리 주변의 염분을 줄이기 위해 이른 봄에 깨끗한 물로 토양을 씻어주거나 손상을 최소화 할 수 있는 방안을 모색하고 있다. 하지만 고비용의 부담이 발생되기 때문에(Nisha *et al.*, 2013), 적합한 가로변 수종을 선택하는 것이 장기적인 측면에서 볼 때 여러 가지 측면에서 바람직하다고 하겠다.

이에 국외에서는 북미중부오크(*Quercus macrocarpa*), 허니주엽나무(*Gleditsia triacanthos*), 노르웨이단풍(*Acer platanoides*) 등을 내염성이 강한 수종으로, 사탕단풍(*Acer saccharinum*), 미국피나무(*Tilia americana*), 주목(*Taxus baccata*), 서양측백나무(*Thuja occidentalis*), 조팝나무(*Spiraea prunifolia*), 스트로브잣나무(*Pinus strobus*) 등을 내염성이 약한 수종으로 구분함으로써, 가로변 내염성 수종선정에 관한 구체적인 가이드라인을 제시하고 있다(Dubuque, 2010). 최근에는 해안가에 자생하는 염생식물을 주목하고 있으며, 관목인 오비온(*Atriplex portulacoides*) (Susana *et al.*, 2007), 갯쟁이속 관목인 *Atriplex nummularia* (Bazihizina *et al.*, 2009), 콩과식물이자 열대유실수인 메스키트(*Prosopis juliflora*) (Seyed *et al.*, 2012), 노랑말채나무(*Cornus stolonifera*) (Sylvie and Maha, 2009) 등의 내염성

에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 국내에서는 간척지 및 녹지공간의 조경소재로서 산딸나무(*Cornus kousa*) (Sung *et al.*, 2009), 산벚나무(*Prunus sargentii*) (Sung *et al.*, 2010), 스트로브잣나무(*Pinus strobus*)와 곰솔(*Pinus thunbergii*) (Park *et al.*, 2013), 마삭줄(*Trachelospermum asiaticum*), 순비기나무(*Vitex rotundifolia*), 사철나무(*Euonymus japonica*) (Lee *et al.*, 2013), 작살나무(*Callicarpa japonica*) (Kim *et al.*, 2013), 멸골(*Stauntonia hexaphylla*)과 다정큼나무(*Raphiolepis indica* var. *umbellata*) (Choi *et al.*, 2013), 복자기(*Acer triflorum*) (Kwon *et al.*, 2014) 등에 대한 내염성을 평가한 바 있다. 하지만 실제로 제설제는 겨울철에 살포하고 봄철에 염해가 발생할 뿐 아니라(Eom *et al.*, 2013), 피해대책 중 하나로 내염성 관목의 수벽(樹壁)효과를 유도한다고 볼 때(Yang *et al.*, 2010), 겨울철 염화칼슘 처리에 따른 관목류에 대한 내염성 평가가 요구된다고 하겠다. 이에 본 연구에서는 도심 내에서 공원 및 가로수 주변에 식재하는 대표적인 상록 관목류인 사철나무(*Euonymus japonica*), 영산홍(*Rhododendron indicum*), 회양목(*Buxus koreana*)을 중심으로 겨울철 염화칼슘( $\text{CaCl}_2$ ) 처리에 따른 생육 및 생리적 반응을 살펴봄으로써, 내염성 정도와 제설제 피해지역에 대한 내성수종을 선별하기 위한 기초자료로 제시하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

본 실험은 2014년 10월부터 2015년 3월까지 충청북도 충주시 건국대학교 글로벌캠퍼스 내의 노지 실습장에서 수행하였다. 실험기간 중 평균최고온도 15.2°C, 평균최저온도 -3.5°C, 평균강수량 23.3mm, 평균상대습도 61.04%, 평균일조시간 187.66hr로 조사되었다.

### 1. 식물 및 토양재료

본 실험에 사용한 식물재료는 도심 내에서 공원 및 가로수 주변에 식재하는 세 가지 상록 관목류인 사철나무, 영산홍, 회양목으로 선정하였다(Shin *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2010). 사철나무는 내한성은 약하지만, 햇볕이 부족한 음지나 나무그늘 밑에서도 양호한 생장을 한다(Kim *et al.*, 2014). 영산홍은 일본이 원산으로 주로 고온 다습한 남부지방에 자생하며(Kim, 2007), 조경용으로 이용되는 철쭉재배품종류 중 하나이다(Choi and Park). 회양목은 생장이 느리나 내한성과 맹아력이 강해 생육

타리, 경계식재용으로 식재되고 있다(Shim *et al.*, 1990). 2014년 10월에 수고와 수관폭이 각각 사철나무 10, 15 cm, 영산홍 25, 20 cm, 회양목 25, 20 cm의 비교적 균일한 식물재료를 병천에 위치한 산내식물원에서 구입한 후 약 한 달간 30% 차광막 처리를 한 노지에서 순화시켰다. 토양재료로는 제설제 처리 외의 토양변수를 최소화하고 식물의 생육을 고려해 코코피트 51.5%, 피트모스 10%, 버미큘라이트 13%, 펄라이트 15%, 제올라이트 10%, 부식산 0.1%, 비료 0.4%로 규격화된 완제품인 상업용상토(한아름원예용상토, (주)신성미네랄, 한국)를 사용하였으며, 이 · 화학적 특성은 Table 1과 같다. 제설제는 국내에서 가장 많이 사용되는 염화칼슘( $\text{CaCl}_2$ )으로 하였으며(Shin *et al.*, 2001), 본 실험에는 순도 74%의 분말 염화칼슘(공업용  $\text{CaCl}_2$ , 동양제철공업화학, 한국)을 사용하였다.

### 2. 처리구 조성

염화칼슘 처리에 따른 세 가지 관목류에 대한 생육 및 생리적 반응을 보기 위한 실험구는 총 5가지로 구성하였으며, 염화칼슘 처리농도의 기준은 선행연구(Kwon and Kim, 2006)를 참고하여 설정하였다. 우선, 완전하게 건조된 상토의 토양무게 1,000 g을 기준으로 각각 0%(대조구), 0.5%, 1.0%, 3.0%, 5.0%로 염화칼슘을 혼합한 후 약 1주일간 상온에서 안정화시켰다. 그 후 플라스틱 포트(직경 15 cm × 높이 14 cm)에 염화칼슘을 농도별로 처리한 상토를 넣고 세 가지 관목을 정식한 후 초기 활착을 위해 흙이 마르지 않을 정도로 관수하였다. 염화칼슘이 외부로 방출되는 것을 막기 위해 삼목상자(가로 52 cm × 세로 31 cm × 높이 10 cm) 하부에 방수포를 깔고, 그 위에 정식한 포



Figure 1. Overall view of the experiment with different calcium chloride( $\text{CaCl}_2$ ) concentrations in pot

Table 1. Physical and chemical characteristics sterilized growing medium used in this experiment

Bulk density ( $\text{Mg}/\text{m}^3$ )	pH	EC ( $\text{dS}/\text{m}$ )	$\text{NH}_3\text{-N}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	$\text{NO}_3\text{-N}$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	Available phosphate ( $\text{mg}/\text{L}$ )	CEC ( $\text{cmol}/\text{L}$ )
0.3±0.1	5.5~7.0	≤ 1.2	≤ 600	≤ 300	≤ 500	20±10

트를 각 처리구별로 4개씩 3반복으로 완전임의배치(CRD, completely randomized design)하였다. 각각의 실험구는 2014년 11월부터 2015년 3월까지 약 5개월간 30% 차광막 처리를 한 노지에서 재배하였으며, 인위적인 관수는 하지 않았다(Figure 1 참조).

### 3. 측정항목 및 분석방법

가로변 식생의 내염성 정도는 겨울철에 살포된 제설제가 녹아 토양 내 염분이 높아지는 이른 봄에 알 수 있다는 선행연구(Eom *et al.*, 2013)를 근거로, 2014년 11월에 정식한 후 이듬해 이른 봄인 2015년 3월에 생육과 생리적 특징을 측정하였다. 생육적 특성은 생존율, 수고, 엽장, 엽폭, 엽형지수, 엽수, 생체중, 건조중, 건물률, R/T율 등을 중심으로 조사하였다. 생존율(survival rate, %)은 염화칼슘 처리 후 첫 잎이 개시된 것을 생존으로 판단해, 각 처리구별생존 식물 수/ 총 공시 식물 수 × 100%로 산정하였다. 수고는 기반에서 식물의 가장 끝이 되는 지점을 기준으로 측정하였다. 엽장과 엽폭은 식물체 및 줄기의 정단부로부터 아래 5번째 잎부터 3개의 성엽을 선택한 후 30 cm 자를 이용하여 측정하였고, 엽장/엽폭으로 엽형지수(LSI: leaf shape index)를 구하였다(Lee *et al.*, 2014). 엽수는 완전히 전개된 잎을 중심으로 육안으로 조사하였다. 생체중(FW: fresh weight)은 각 처리구별 식물체를 채취하여 증류수로 세척한 후 지상부와 지하부를 각각 분리하여 잘게 분쇄한 후 전자저울(FG-150KAL-H, AND, Korea)로 잰다. 건물중(DW: dry weight)은 70°C의 열풍건조기(C-DF, Changshin Scientific Co., Korea)에서 더 이상의 건조무게가 변하지 않을 때까지 건조시킨 뒤 측정하였다. 건물률(DM: dry matter) = (건물중/생체중) × 100%(Kwack *et al.*, 2014)으로, R/T률(root/shoot ratio) = 지하부 건물중/ 지상부 건물중 × 100%(Wang *et al.*, 2015)으로 구했다. 생리적 특성으로는 엽록소함량, 엽록소형광반응, 광합성, 기공전도도, 증산율 등을 중심으로 조사하였다. 엽록소함량은 휴대용 엽록소함량 측정기(SPAD-502, Minolta, Japan)로, 광합성율, 기공전도도, 증산율 등은 미세환경 자동조절 광합성 측정기(LC pro+SD, ADC Bioscientific Co., UK)로, 엽록소형광반응은 형광반응분석기(JUNIOR-PAM, Walz, Germany)로 오전 10~11시 사이에 엽장과 엽폭을 잰던 동일한 잎의 중심부위를 3반복 측정하여 평균값을 냈다. 각 처리별로 수집된 데이터의 통계분석은 SPSS(SPSS Inc., ver. 18.0 K, USA) 프로그램을 이용하여 Duncan 다중검정( $p=0.05$ )으로 평균간의 유의성을 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 생육적 특성

2014년 11월에 염화칼슘을 처리한 다음 해 이른 봄인 2015년 3월에 세 가지 관목의 생존율을 살펴본 결과, 사철나무는 대조구, 0.5, 1.0% 처리구에서 각각 100, 58.3, 50%인 반면, 영산홍은 대조구, 0.5% 처리구에서 각각 100, 58.3%, 회양목은 100, 33.3%로 조사되었다(Table 2 참조). 이에 사철나무는 3.0% 이하에서, 영산홍과 회양목은 1.0% 이하의 염화칼슘 처리에서 생존이 가능해, 사철나무가 다른 두 가지 관목에 비해 좀 더 고농도에서 적응이 가능하다는 것을 알 수 있다. 서울시의 주요 가로변 토양의 염 농도를 추정한 결과, 0.02~0.80%의 범위라고 볼 때(Lee *et al.*, 2013), 저농도에서는 영산홍과 회양목, 고농도에서는 사철나무를 식재하는 것이 바람직할 것으로 본다.

사철나무의 수고는 대조구, 0.5, 1.0% 처리구에서 각각 20.5, 10.4, 7.2 cm, 엽장은 5.36, 1.55, 1.28 cm, 엽폭은 2.73, 0.96, 0.66 cm, 엽형지수는 1.97, 0.89, 0.71, 엽수는 27, 10, 8개로, 대조구에 비해 약 50~70%로 감소하였다. 영산홍의 수고는 대조구, 0.5% 처리구에서 각각 54.6, 26.0 cm, 엽장은 2.24, 0.82 cm, 엽폭은 0.89, 0.27 cm, 엽형지수는 2.62, 1.33, 엽수는 156, 27로 대조구에 비해 약 50~82%로 감소하였다. 회양목의 수고는 대조구, 0.5% 처리구에서 각각 26.3, 25.4 cm, 엽장은 각각 2.24, 0.85 cm, 엽폭은 각각 1.28, 0.45 cm, 엽형지수는 각각 1.75, 0.31, 엽수는 각각 203, 128로, 대조구에 비해 수고를 제외하고 약 37~82%로 감소했다(Table 2 참조). 이에 염화칼슘 처리농도에 따라 사철나무가 영산홍과 회양목에 비해 감소율이 비교적 낮아 영산홍>회양목>사철나무 순으로 생육이 억제됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 사철나무가 내한성은 약하지만 해풍과 염기에 강한 생태적인 특징을 가지고 있기 때문인 것으로(Kim *et al.*, 2014) 분석된다.

일반적으로 내염성의 정도는 종자발아 및 생육을 살펴보는 것으로 시작되는데, 콩과식물이자 열대유실수인 메스키트(*Prosopis juliflora*)는 염농도 100 mM 처리구에서 종자발아 및 현존량(biomass)이 개선되었으며(Seyed *et al.*, 2012), 갯쟁이속 관목인 *Atriplex nummularia*은 염화나트륨(NaCl) 10~670 mm의 불규칙한 농도의 처리에서 생육과 생리적 변화가 낮아 실제 염분토양에 현장적용성이 높다고 하였다(Bazihizina *et al.*, 2009). 이러한 결과는 추후 자생 염생식물의 제설제에 대한 내성 정도를 재검토할 필요가 있음을 시사해준다고 하겠다.

염화칼슘 처리농도에 따른 지상부 생체중과 건물중, 지하부의 생체중과 건물중, 건물률, R/T율을 살펴본 결과, 사철나무의 지상부와 지하부 모두 생체중과 건물중이 처리농도가 높아질수록 낮아지는 경향을 보였다. 건물률과 R/T율은 43.10, 4.31

Table 2. Growth characteristics of *Euonymus japonica*, *Rhododendron indicum*, and *Buxus koreana* as affected by calcium chloride(CaCl<sub>2</sub>) concentrations(March, 2015)

Species	Concentrations (%)	Survival rate (%)	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf shape index	No. of leaves
<i>Euonymus japonica</i>	Control	100.0	20.5a <sup>z</sup>	5.36a	2.73a	1.97a	27a
	0.5	58.3	10.4b	1.55b	0.96b	0.89b	10b
	1.0	50.0	7.2b	1.28b	0.66b	0.71b	8bc
	3.0	-	-	-	-	-	-
	5.0	-	-	-	-	-	-
<i>Rhododendron indicum</i>	Control	100.0	54.6a	2.24a	0.89a	2.62a	156a
	0.5	58.3	26.0b	0.82b	0.27b	1.33b	27b
	1.0	-	-	-	-	-	-
	3.0	-	-	-	-	-	-
	5.0	-	-	-	-	-	-
<i>Buxus koreana</i>	Control	100.0	26.3a	2.24a	1.28a	1.75a	203a
	0.5	33.3	25.4b	0.85b	0.45b	0.31b	128b
	1.0	-	-	-	-	-	-
	3.0	-	-	-	-	-	-
	5.0	-	-	-	-	-	-

<sup>z</sup> Different letters in the same column indicate a significant difference at  $p < 0.05$  according to Duncan's multiple range test(n=12).

(대조구), 34.16, 2.75(0.5%), 27.26, 0.79(1.0%)로 건물물의 감소세는 완만한 반면, R/T율은 감소세가 매우 뚜렷했다. 영산홍은 지상부보다 지하부의 생체중과 건물중의 차이가 더 뚜렷했다. 건물물과 R/T율은 63.31, 2.93(대조구), 54.29, 1.10(0.5%)으로 사철나무와 유사하였으나, 건물물의 감소폭은 크지 않았다. 회양목 또한 지상부보다 지하부의 생체중과 건물중의 감소세가 더 컸다. 건물물과 R/T율은 각각 52.62, 4.08(대조구), 39.82, 1.54(0.5%)로 처리농도에 따라 지상부보다는 지하부 생장에 좀 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다(Table 3 참조). 염화칼슘 처리농도가 높아짐에 따라 세 가지 관목 모두 지상부와 지하부 모두 생체중과 건물중, 건물물이 감소되는 경향을 보이고 있다. 식물체의 수분변화는 일반적으로 수분스트레스 상태를 알 수 있는 지표로서(Shishi *et al.*, 2015), 이러한 결과는 염스트레스가 세포벽에 존재하는 세포벽 가수분해 효소의 활성을 억제하여 세포벽을 딱딱하게 만들어 세포의 크기, 성장 속도 및 생체중을 감소하게 함과 동시에 염에 대한 저항성을 획득하기 위한 기작인 것(Singh and Prasad, 2009)으로 보인다.

## 2. 생리적 특성

사철나무의 엽록소함량은 대조구, 0.5, 1.0% 처리구에서 각각 26.5, 18.9, 17.7 SPAD-value, 엽록소형광반응은 0.439, 0.407, 0.328 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>, 광합성률은 3.08, 1.37, 1.14 mmol CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 기공전도도는 1.44, 0.38, 0.34 mol · H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 증산율은

2,656, 182, 167 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>로 대조구에 비해 엽록소함량은 28~33%, 엽록소형광반응은 3~11%, 광합성률은 50~60%, 기공전도도는 73~78%, 증산율은 93~100%로 줄어들었다. 영산홍의 엽록소함량은 대조구, 0.5% 처리구에서 각각 26.1, 15.9 SPAD-value, 엽록소형광반응은 0.602, 0.507 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>, 광합성률은 1.62, 0.63 mmol CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 기공전도도는 0.37, 0.36 mol · H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 증산율은 720, 282 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>로 조사되어, 대조구에 비해 엽록소함량은 39%, 엽록소형광반응은 16%, 광합성률은 61%, 기공전도도는 3%, 증산율은 60%로 감소되었다. 회양목의 엽록소함량은 대조구, 0.5% 처리구에서 각각 20.3, 2.6 SPAD-value, 엽록소형광반응은 0.6700, 0.008 F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>, 광합성률은 1.74, 0.01 mmol CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 기공전도도는 0.670, 0.004 mol · H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 증산율은 181, 16 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>로 조사되어, 대조구에 비해 엽록소함량은 87%, 엽록소형광반응은 98%, 광합성률은 99%, 기공전도도는 99%, 증산율은 91%로 낮아졌다(Table 4 참조). 이에 염화칼슘 처리농도가 높을수록 생리적 반응들이 감소되는 것은 동일하나, 사철나무가 다른 두 관목에 비해 완만한 감소세를 보였다. 특히, 영산홍은 증산율을, 회양목은 광합성률과 기공전도도가 억제됨을 알 수 있다. 세 가지 관목류 모두 정도의 차이는 있으나 대조구에 비해 처리농도가 높을수록 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는 염분이 삼투 스트레스를 높여, 식물체내 수분흡수를 제한함으로써(Munns and Tester, 2008) 엽록소함량, 엽록소형광반응, 광합성률, 기공전도도, 증산율에 부정적인 영향을 주었기 때문인

Table 3. Fresh weight(FW)(g plant<sup>-1</sup>), dry weight(DW)(g plant<sup>-1</sup>), dry matter(DM %), and root/top ratio(dry weight %) of *Euonymus japonica*, *Rhododendron indicum*, and *Buxux koreana* as affected by calcium chloride(CaCl<sub>2</sub>) concentrations(March, 2015)

Species	Concentrations (%)	Shoots		Roots		DM%	R/T
		FW	DW	FW	DW		
<i>Euonymus japonica</i>	Control	9.85a <sup>z</sup>	3.57a	34.17a	15.42a	43.10a	4.31a
	0.5	8.65ab	2.38ab	17.48b	6.55b	34.16b	2.75b
	1.0	5.60b	2.10b	8.23c	1.67c	27.26c	0.79c
	3.0	-	-	-	-	-	-
	5.0	-	-	-	-	-	-
<i>Rhododendron indicum</i>	Control	49.44a	27.68a	122.58a	81.24a	63.31a	2.93a
	0.5	41.11b	22.30b	45.40b	24.68b	54.29b	1.10b
	1.0	-	-	-	-	-	-
	3.0	-	-	-	-	-	-
	5.0	-	-	-	-	-	-
<i>Buxux koreana</i>	Control	9.46a	5.35a	42.04a	21.84a	52.62a	4.08a
	0.5	7.83b	3.80b	16.46b	5.88b	39.82b	1.54b
	1.0	-	-	-	-	-	-
	3.0	-	-	-	-	-	-
	5.0	-	-	-	-	-	-

<sup>z</sup> Different letters in the same column indicate a significant difference at  $p < 0.05$  according to Duncan's multiple range test(n=12).

Table 4. Physiological characteristics of *Euonymus japonica*, *Rhododendron indicum*, and *Buxux koreana* as affected by calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>) concentrations(March, 2015)

Species	Concentrations (%)	Chlorophyll contents (SPAD-value)	Chlorophyll fluorescence reaction (F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> )	Photosynthesis rate (mmol CO <sub>2</sub> · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> )	Stomatal conduct (mol · H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> · S <sup>-1</sup> )	Transpiration rate (μmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> )
<i>Euonymus japonica</i>	Control	26.5a <sup>z</sup>	0.439a	3.08a	1.44a	2.656a
	0.5	18.9a	0.407a	1.37b	0.38b	182b
	1.0	17.7a	0.328a	1.14b	0.34b	167b
	3.0	-	-	-	-	-
	5.0	-	-	-	-	-
<i>Rhododendron indicum</i>	Control	26.1a	0.602a	1.62a	0.37a	720a
	0.5	15.9a	0.507b	0.63b	0.36a	282b
	1.0	-	-	-	-	-
	3.0	-	-	-	-	-
	5.0	-	-	-	-	-
<i>Buxux koreana</i>	Control	20.3a	0.670a	1.74a	0.670a	181a
	0.5	2.6b	0.008b	0.01b	0.004b	16b
	1.0	-	-	-	-	-
	3.0	-	-	-	-	-
	5.0	-	-	-	-	-

<sup>z</sup> Different letters in the same column indicate a significant difference at  $p < 0.05$  according to Duncan's multiple range test(n=9).

것으로 해석된다. 이러한 결과는 비단 생리적 반응뿐 아니라 광합성율이 식물체의 지상부 생체중 또는 건물중을 높이는 데 영향을 준다고 볼 때(Lee and Kim, 2014), 생육적 반응과 연관성이 높을 것이라 추정된다.

염록소함량은 광합성 능력과 밀접하게 관련성이 있어 이를 간접적으로 추정할 수 있을 뿐 아니라, 스트레스 여부 정도도 알 수 있는 지표이다(Lee *et al.*, 2013). 또한, 식물체의 잎의 변색은 염록소의 파괴로 이루어지는 경우가 대부분으로(Shim *et*

al., 1990), 잎의 광합수율 감소시킴으로써(Evans, 1996), 기공 전도도, 증산률, 광합성률 또한 감소된 것으로 보인다. 특히, 증산율과 기공전도도의 감소는 수분이용효율을 높여 수분 손실을 막기 위한 일시적인 반응일 수 있으나, 장기적으로 기공폐쇄로 인한 CO<sub>2</sub>의 유입이 제한됨으로써 광합성이 감소할 수 있음을 지적하고 있다(Kwon *et al.*, 2014). 염류소형광반응은 스트레스를 받을수록 감소되고(Sung *et al.*, 2010), 내염성이 높은 수종들에게는 크게 변화가 없다고 볼 때(Maricle *et al.*, 2007), 사철나무는 영산홍과 회양목보다는 염해에 덜 예민함을 알 수 있다.

#### IV. 결론

사철나무는 3.0% 이하, 영산홍과 회양목은 1.0% 이하의 처리구에서 생존이 가능하였으며, 사철나무가 영산홍과 회양목에 비해 생육적 감소율이 비교적 낮았다. 염화칼슘 처리농도가 높을수록 대조구에 비해 생리적 반응들이 감소되는 것은 동일하나, 영산홍과 회양목은 감소세가 비교적 뚜렷한 반면, 사철나무가 완만한 감소세를 보이고 있다. 특히, 처리농도가 높아짐에 따라 영산홍은 증산율을, 회양목은 광합성율과 기공전도도를 억제시키는 경향을 보였다. 이러한 결과를 통해 사철나무가 영산홍과 회양목에 비해 염해에 좀 덜 민감한 수종임을 알 수 있어 제설제 피해지역에 상록 관목류로 적용이 가능할 것으로 본다.

본 연구는 염화칼슘의 처리농도에 따른 세 가지 상록 관목류를 중심으로 생육 및 생리적 반응에 중점을 두었기 때문에, 토양학적 반응과 세밀하게 연계하지 못한 것이 사실이다. 실제로 토양 내 염분의 농도는 광범위한 수준으로 존재하기 때문에, 자생 염생식물 중 관상 가치가 높은 관목류인 해당화(*Rosa rugosa*), 돌가시나무(*Rosa wichuraiana*), 순비기나무(*Vitex rotundifolia*), 위성류(*Tamarix chinensis*), 우목사스레피(*Eurya emarginata*) 등에 대한 생육 및 생리학적 기작탐색을 통한 조경학적 이용방안에 대한 연구가 요구된다. 좀 더 나아가 토양-식물 연속체(SPC: soil-plant continuum)의 관점에서 도시 및 가로변 제설제 피해지역을 정화하기 위한 세부적으로 지침이 될 만한 실증자료와 현실적인 대안이 필요하다고 사료된다.

#### References

- Bazhizina, N., T. Colmer and E. G. Barrett-Lennard(2009) Response to non-uniform salinity in the root zone of the halophyte *Atriplex nummularia*: growth, photosynthesis, water relations and tissue ion concentrations. *Annals of Botany* 104(4): 737-45.
- Choi, J. J. and S. G. Park(2014) Morphological characteristics and classification criteria for *Azalea cultivars* for landscaping in Korea. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 42: 77-85.
- Choi, S. M., H. C. Shin, I. Korn, K. Y. Huh and D. Ki(2013) Salt tolerance assessment with NaCl of *Stauntonia hexaphylla*(Thunb.) decence and *Raphiclepis indica* var. *umbellata*(Thunb.) Ohashi. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31: 617-625.
- Devitt, D. A., L. Wright, F. Landau and L. Apodaca(2014) Deicing salts: Assessing distribution, ion accumulation in plants and the responses of plants to different loading rates and salt mixture. *Environment and Natural Resources Research* 4(1): 73-93.
- Dubuque, C.(2010) De-icers for driveways and sidewalks, *Telegraph Herald*, 14 Nov. E.7.
- Eom, S. H., T. L. Setter, A. DiTommas and L. A. Weston(2013) Differential growth response to salt stress among selected ornamentals. *Journal of Plant Nutrition* 30: 1109-1126.
- Evans, J. R.(1996) Developmental Constraints on Photosynthesis: Effects of Light and Nutrition, Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers. pp. 281-304.
- Evelin, H., R. Kapoor and B. Giri(2009) *Arbuscular mycorrhizal* fungi in alleviation of salt stress. *Annals of Botany* 104: 1263-1280.
- Kim, J. H., K. W. Kwon, W. T. Kim and Y. H. Yoon(2013) Effects of watering and soil conditioners for reduction of salt stress on the growth of *Callicarpa japonica*. *J. Korean Soc. People Plant Environ.* 16: 267-274.
- Kim, S. S.(2007) *Landscaping Woody Plants in Korea*. Kimoonjang Publishing Co., Ltd. Seoul. p. 164-165.
- Kim, W. J., K. T. Lee, H. J. Lee and S. T. Cho(2014) Extractives from wood of *Eyonymus japonica*. *J. Korean For. Soc.* 103(1): 113-121.
- Kwack, Y., S. W. Park and C. Chun(2014) Growth and development of grafted cucumber transplants as affected by seedling ages of scions and rootstocks and light intensity during their cultivation in a closed production system. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 32(5): 600-606.
- Kwon, H. B. and T. J. Kim(2006) Evaluation of the coating liquid sprayed on landscape plants to prevent de-icing stresses. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 35(6): 29-36.
- Kwon, M. Y., S. H. Kim and J. H. Sung(2014) The responses of growth and physiological traits of *Acer triflorum* on calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>) concentration. *Korean J. Environ. Ecol.* 28(5): 500-509.
- Lee, G. H., J. G. Yu, J. H. Park and Y. D. Park(2014) Construction of a network model to reveal genes related to salt tolerance Chinese cabbage. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 32(5): 684-693.
- Lee, J. S. and Y. H. Kim(2014) Growth and anthocyanins of lettuce grown under red or blue light-emitting diodes with distinct peak wave length. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 32(3): 330-339.
- Lee, S. Y., W. T. Kim, J. H. Ju and Y. H. Yoon(2013) Effect of calcium chloride concentration on roadside ground cover plant growth. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 41: 17-23.
- Maricle, B. R., R. W. Lee, C. E. Hellquist, O. Kirasts and G. E. Edwards(2007) Effects of salinity on chlorophyll fluorescence and CO<sub>2</sub> fixation in C<sub>4</sub> estuarine grasses. *Photosynthetica* 45(3): 433-440.
- Munns, R. and M. Tester(2008) Mechanisms of salinity tolerance *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
- Nikiforova, E. M., N. S. Kasimov and N. E. Kosheleva(2014) Long-term dynamics of the anthropogenic salinization of soils in Moscow (by the example of the eastern district). *Eurasian Soil Science* 47(3): 203-215.
- Nisha, K., Y. Kuldeep, B. Neetu and A. Ashok(2013) AM fungi ameliorates growth, yield and nutrient uptake in *Cicer arietinum* L. under salt stress. *Russian Agricultural Science* 39(4): 321-329.
- Park, C. M., C. S. Park and W. J. Park(2013) Effect of rare-earth fertilizer on the salinity tolerance of *Pinus strobus* and *P. thunbergii*. *Journal of Agriculture & Life Science* 44(2): 1-9.

23. Seyed, M. H. N., P. Aidin, N. Hamed and K. S. K. Sekineh(2012) Effect of salt stress on germination and seedling growth of *Prosopis juliflora*(Sw.). *New Forests* 43: 45-55.
24. Shim, K. K., Y. M. Ha, Y. H. Kang and B. K. Seo(1990) A study on new winter-green cultivar of Korean boxwood. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 31(4): 405-413.
25. Shin, J. H., H. R. Heo, J. S. Shin, M. Y. Kim and J. Y. Shin(2001) A study of effects on environment from road deicings. *Korean J. Sanitation* 16(4): 31-37.
26. Shin, Y. M., H. Y. Oh and S. Y. Kim(2003) A study on the plan to expand landscape materials of Korean native deciduous shrubs: Focused on the middle area of Korea. *Journal of the Korean Institute of Traditional Landscape Architecture* 21(4): 100-113.
27. Shishi, L., Y. Peng, W. Du, Y. Le and L. Li(2015) Remote estimation of leaf and canopy water content in winter wheat with different vertical distribution of water-related properites. *Remote Sens.* 7: 4626-4650.
28. Singh, A. and R. Prasad(2009) Salt stress effects growth and cell wall bound enzymes in *Arachis hypogaea* L. seedlings. *Int. J. Integr. Biol.* 7: 117-123.
29. Sung, J. H., S. M. Je, S. H. Kim and Y. K. Kim(2009) Effects of calcium chloride(CaCl<sub>2</sub>) on the characteristics on photosynthetic apparatus, stomatal conductance, and fluorescence image of the leaves of *Cornus kousa*. *J. Agric. For. Meteorol.* 11: 143-150.
30. Sung, J. H., S. M. Je, S. H. Kim and Y. K. Kim(2010) Effect of calcium chloride(CaCl<sub>2</sub>) on chlorophyll fluorescence image and photosynthetic apparatus in the leaves of *Prunus sargentii*. *J. Korean. For. Soc.* 99: 922-928.
31. Susana, R. G., M. N. Enrique, D. Anthony and F. G. Munoz(2007) Growth and photosynthetic responses to salinity of the salt-marsh shrub *Atriplex portulacoides*. *Annals of Botany* 100(3): 555-563.
32. Sylvie, R. and A. Maha(2009) Improving NaCl resistance of red-osier dogwood: role of CaCl<sub>2</sub> and CaSO<sub>4</sub>. *Plant Soil* 315: 123-133.
33. Wang, S., P. Liu, D. Chen, L. Yin, H. Li and X. Deng(2015) Silicon enhanced salt tolerance by improving the root water uptake and decreasing the ion toxicity in cucumber. *Frontiers in Plant Science* 6: 1-10.
34. Yang, S. J., S. C. Lee, S. H. Choi, J. B. Baek and S. D. Lee(2010) Study on a valid soil depth of belt-type shrub in street trees. *Pro. Kor. Soc. Env. Eco. Con.* 20(1): 241-244.

---

Received : 15 October, 2015

Revised : 16 November, 2015 (1st)

22 February, 2016 (2nd)

22 April, 2016 (3rd)

Accepted : 22 April, 2016

4인익명 심사필