

염화칼슘 처리농도가 가로변 지피식물의 생장에 미치는 영향

이선영* · 김원태** · 주진희*** · 윤용한***

*건국대학교 대학원 산림과학과 · **천안연암대학 환경조경과 · ***건국대학교 녹색기술융합학과

Effect of Calcium Chloride Concentration on Roadside Ground Cover Plant Growth

Lee, Sun-Young* · Kim, Won-Tae** · Ju, Jin-Hee*** · Yoon, Yong-Han***

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

**Dept. of Environment and Landscape Architecture, Cheonan Yonam College

***Dept. of Green Technology Convergence, Konkuk University

ABSTRACT

The purpose of this study was to provide information on management and apply it to a roadside ground cover plant understanding the capacity of calcium chloride in the plant. The experimental group was composed of the ratio control group of calcium chloride, 0.5%, 1.0%, and 3.0% in 500g of soil. Plant materials were selected and measured according to their ecological characteristics such as ground cover plant, *Pachysandra terminalis*, *Hosta plantaginea*, *Trachelospermum asiaticum*, *Vitex rotundifolia*, *Euonymus japonica* and *Callicarpa japonica*. The acidity of the amended soil was increased gradually depending on the treatment and conductivity was continually decreased. The EX-Ca increased after the treatment, but decreased in the middle of the experiment. *Pachysandra terminalis*, *Trachelospermum asiaticum* and *Euonymus japonica* were able to grow and survive at the ratio of 0.5%. *Hosta plantaginea* and *Vitex rotundifolia* were able to survive at the ratio of 1.0%. *Hosta plantaginea*, the possible state can absorb salts due to moisture and, can be applied to ground cover plants in the roadside. The growth and development of *Callicarpa japonica* was poor and the leaves were open to grow for calcium chloride treatment except the control group. It was concluded that *Callicarpa japonica* was very sensitive to calcium chloride.

Key Words: De-Icing Salts, Maximum Penetration of Salt, Salt Stress, Salt Tolerance

국문초록

본 연구는 가로변 지피식물을 중심으로 염화칼슘에 대한 내성과 피해양상을 파악하여 효율적인 가로변 지피식물 적용 및 관리 자료를 제시하고자 실시되었다. 실험구 조성은 염화칼슘 비율 대조구, 0.5%, 1.0%, 3.0%로 구분하여 일반상토 500g을 기준으로 고상처리 하였다. 식물재료로는 가로수 지피식물로 가능성이 있거나 사용되는 수호초, 옥잠화, 마삭줄,

Corresponding author: Yong-Han Yoon, Dept. of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju 381-701, Korea, Tel.: +82-43-840-3536, Fax: +82-43-851-4169, E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

순비기나무, 사철나무, 작살나무를 사용하였다. 결과를 정리하면 토양은 염화칼슘 농도처리에 따라 산도가 증가하였으며, 전기전도도는 지속적으로 감소하였고, 치환성 칼슘 함량은 처리 이후 증가하였으나 실험기간 중 감소하였다. 수호초, 마삭줄, 사철나무는 염화칼슘 비율 0.5%까지 생육 및 생존이 양호한 것으로 나타났다. 옥잠화, 순비기나무는 1.0%까지 생존이 가능한 것으로 나타났으며, 옥잠화는 식재 기반의 수분을 통한 염류의 이동이 가능한 조건에서 가로변의 지피식재로 적용이 가능할 것이라 판단되었다. 작살나무는 대조구를 제외한 염화칼슘 처리구에서 생육이 불량하고 개엽하지 않아 염화칼슘에 대한 민감성이 큰 것으로 나타났다.

주제어: 제설제, 한계염용량, 염 스트레스, 내염성

1. 서론

식물을 식재하는 것은 여러 생물과 미생물, 그리고 토양, 기후, 탄소, 산소, 토양의 성질 등 여러 가지 물질들이 상호작용하며(산림청, 2002), 생태계 기능의 본질인 에너지와 물질의 순환이 이루어져 다양한 생물들의 서식환경을 형성할 수 있도록 하는 것이다(백성주, 2012). 따라서 조경소재로서 식물의 이용은 불리한 환경에서도 적용할 수 있도록 내환경성 평가를 통해 이루어지는 것이 바람직하다(과학기술부, 2006). 특히, 가로수는 그 재료가 생물인 식물 소재라는 점에 있어 생태적 관점에서의 생육 조건 측면은 무엇보다 중요하게 취급되어야 한다(김선화, 2007).

최근 기후변화로 인한 폭설로 차량통행 기능의 상실로 도로상의 차량의 원활한 통행과 더불어 보행자의 안전을 보장하기 위한 수단으로 제설제를 사용하고 있으며, 그 사용량은 2007~2008년 동절기에 49,056톤, 2008~2009년 동절기에 56,572톤, 2009~2010년 동절기에 85,530톤으로 점차 증가하고 있는 실정이다(신성필 등, 2010). 제설제의 다양한 종류 가운데 우리나라에서는 염화칼슘을 주로 사용하고 있는데(국토해양부, 2003), 염화칼슘의 경우 소금보다 단위중량당 염소를 상대적으로 많이 포함하고 있어 환경적인 피해를 가중시킨다(Jones *et al.*, 1986). 여러 가지 환경적인 피해 중 일반적으로 제설제가 직접적으로 식물에 접촉하게 될 경우에는 전반적인 성장장애, 또는 가지 등과 같은 특정부분이 서서히 죽거나, 심한 경우에는 나무나 식물 자체의 고사까지 일어난다(신승숙 등, 2007). 그러나 치사농도의 염에 대한 성장 감소율과 내성 레벨은 여러 식물 종간에 따라 크게 다르다(Parida and Das, 2005). 따라서 가로변 수종 선정 및 식재관리 시에는 식물별 내염성 정도 및 한계염용량 분석을 통해 이루어지는 것이 바람직하다.

식물의 내염성 및 염 스트레스, 피해 정도를 평가한 연구는 목적에 맞게 다양하게 수행되어 왔다. 간척지와 같은 고농도의 염이 집적된 환경에 식재 및 안정적인 식량 생산을 목적으로 한 연구(이한철 등, 2002; 김주성 등, 2010; Aghaleh *et al.*, 2011; Askri *et al.*, 2012; 심명선 등, 2012)가 있으며, 가로변 식물의 경우 직접 조사하거나(Izabela *et al.*, 2004; Agnieszka *et al.*, 2011),

실험지에서 조건을 두어 실험(조재형 등, 2007; 김선희 등, 2012)하는 등의 다양한 방법으로 연구들이 진행되고 있다. 이상의 연구들을 보면 국외는 대부분 주로 사용하는 염화나트륨을 대상으로 하는 연구가 대부분이며, 국내의 염화칼슘을 대상으로 한 연구에서도 식물이 한정되어 있어 다양한 식물이 요구되는 가로변에 적용하기에는 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 염화칼슘 비율별 식물의 생육에 미치는 내성 및 피해 특성에 대해 검토하여 가로변 지피식물에 적용하고 있거나 가능성이 있는 식물의 염화칼슘 한계염용량을 파악하여 보다 효율적인 가로변 지피식물로의 적용과 적정관리에 대한 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구범위 및 방법

1. 연구범위

연구는 2012년 2월부터 9월까지 약 8개월간 2차에 걸쳐 충북 충주시에 위치한 건국대학교 글로벌캠퍼스 실습장에서 수행되었으며, 실험 연구기간의 1개월 전 식물구입 후 실험환경에 맞추어 순화시켰다. 목본류의 경우, 초본류에 비해 생장이 느리고 피해기작이 늦게 발생할 것을 감안하여 2012년 2월부터 9월까지 모니터링하였으며, 초본식물의 경우 2012년 4월부터 9월까지 조사하였다.

2. 연구방법

1) 공시재료

지름 15cm, 높이 15cm의 화분에 일반상토(승진상토, 승진비료, 한국) 500g을 충전하였으며, 염화칼슘(CaCl₂, 동양제철화학, 한국)은 도로에서 제설용으로 사용되는 순도 74% 이상의 제품을 고형으로 적용하였다. 식물재료로는 기존 가로변 지피식물로 적용되고 있거나, 활용가치가 높은 수호초(*Pachysandra terminalis*), 옥잠화(*Hosta plantaginea*), 마삭줄(*Trachelospermum asiaticum*), 순비기나무(*Vitex rotundifolia*), 사철나무(*Euonymus*

japonica), 작살나무(*Callicarpa japonica*) 등을 선정하였다. 식물재료는 충남 병천면에 위치한 농장에서 육성된 규격이 동일한 4치포트 묘를 사용하였다.

2) 실험구 조성

가로변 하층환경을 임의적으로 조성하고자 일사를 차단하기 위해 프레임 내부에 50% 차광막을 설치하였다. 토양이 충전된 각 화분에 식물을 식재하고, 식재기반 조성 후 식물을 식재하고 2주간 순화과정을 거쳤다. 완전 건조상태의 토양무게 500g을 기준으로 0%, 0.5%, 1.0%, 3.0% 구분에 따른 염화칼슘을 고형으로 윗부분에 포설하였다(Table 1 참조). 염화칼슘을 비율에 따라 처리하였으며, 실험구 배치는 각 처리구별 완전임의배치법(CRD, Completely Randomized Design) 10반복으로 수행되었다.

3) 측정 및 분석

식물생육 정도를 파악하기 위해 매월 1회 측정을 원칙으로 하였으며, 식물별 형태적인 특성을 고려하여 목본류는 수고, 경장, 직경, 줄기수, 엽수, 엽장, 엽폭 등을, 초본류는 초장, 엽장, 엽폭, 엽수 등을 측정하였다. 초장은 기반으로부터 식물의 가장 끝이 되는 지점을 기준으로, 직경은 기반으로부터 약 1.5cm 지점을 캘리퍼스(Digital calipers, Blue bird, China)를 이용하여 측정하였다. 엽수는 완전히 개엽한 잎만을 포함시켰으며, 엽장 및 엽폭은 한정된 5개의 잎을 선정하여 평균값을 계상하였다. 이외에 생리적인 측면을 보기 위해 휴대용 엽록소 함량 측정기(SPAD-502, Minolta, Japan)를 이용하여 엽록소 함량을 측정하였다. 실험을 종료한 직후 각 식물체의 생체중을 조사하고, 약 1개월간 자연건조를 시킨 후 건체중을 측정하였다. 또한, 토양을 채취하여 토양과 물의 비율을 1:5로 매달 1회 각각의 산

도와 전기전도도를 분석하였다. 또한 유도결합플라즈마 발광광도계(ICP-OES, Optima 5300DV, USA)로 토양 내부에 존재하는 치환성 칼슘(EX-Ca)의 함량을 1N NH4OAC(pH 7.0)로 침출하여 측정하였다.

4) 통계처리

각각의 평균값 간의 차이를 파악하기 위한 통계분석은 SAS program(V.9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)에 의해 DMRT(Duncan Multiple Range Test) 5% 수준에서 유의성 검정을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양의 산도, 전기전도도 및 치환성 칼슘 함량

염화칼슘 처리 전 후, 실험종료 후의 염화칼슘 농도처리에 따라 토양의 부분적 화학적 특성을 측정한 결과, 토양산도는 약산성을 띠었으나, 염화칼슘 처리 후 중성에 가까운 값을 나타냈다. 전기전도도는 실험기간 중 지속적으로 감소하였는데, 이러한 결과는 본 실험이 노지에서 수행됨에 따라 강우에 의해 자연적인 수분공급이 이루어져 토양 전기전도도가 감소한 것으로 사료된다. 또한 환경적인 요인 외에도 식물이 가지는 특성 중 토양 중의 염분을 흡수하고, 식물체 내에 염분을 축적시키는 biological pump 역할(이경보 등, 2007)이 전기전도도의 감소에 기인한 것으로 본다. 전기전도도를 측정함으로써 토양 내 염류의 농도를 간접적으로 알 수 있는데, 이는 염류의 경우 토양수 중에 녹아 이온상태로 되어 전기의 전도를 용이하게 해주기 때문이다(백성주, 2012). 치환성 칼슘은 고비율일수록 염화칼슘 처리 이후 증가폭이 컸으며, 실험 종료 후 측정값에서는 모두 감소한 것으로 나타났다(Table 2 참조).

2. 가로변 지피식물 반응

1) 식물생육

수호초의 초장은 대조구와 염화칼슘 처리구 간의 통계적으

Table 1. Amount of CaCl₂ of soil in roadside de-icing salts treatments

Treatments(%)	CaCl ₂ /Soil(W/W)
Control	0g CaCl ₂ /500g Soil
0.5	2.5g CaCl ₂ /500g Soil
1.0	5g CaCl ₂ /500g Soil
3.0	15g CaCl ₂ /500g Soil

Table 2. Acidity, conductivity and EX-Ca of amended soil on the different calcium chloride concentration

Treatments(%)	Acidity(pH)			Conductivity(dS/m)			EX- Ca(cmol/kg)		
	I.V.*	D.A	F.V.	I.V.	D.A	F.V.	I.V.	D.A	F.V.
Control	5.7±0.2	6.7±0.2	6.7±0.1	5.0±1.7	3.3±0.7	2.5±0.2	1.5±0.4	1.7±0.4	1.8±0.2
0.5	5.9±0.4	6.6±0.3	6.9±0.2	5.8±3.0	4.1±2.1	2.3±0.8	1.7±0.3	3.3±1.2	2.4±0.9
1.0	5.7±0.3	6.5±0.3	6.9±0.4	5.5±2.2	2.9±1.0	2.6±0.9	1.8±0.5	3.3±1.8	2.4±0.9
3.0	5.7±0.2	6.4±0.3	7.1±0.1	5.3±0.5	3.5±1.7	1.9±0.6	1.9±0.7	5.7±2.8	2.8±0.8

* I.V.=Initial value, D.A.=directly after treatment, F.V.=final value(n=10)

로 유의차가 뚜렷하지 않았다. 반면, 엽장과 엽폭은 1.0% 처리구에서 각각 2.6, 1.7cm로 가장 낮은 수치를 보여, 처리농도가 높을수록 감소하였다. 엽수는 대조구에서 79.5개로 가장 많았고, 0.5%와 1.0%가 각각 32.3와 17.3개로 대조구의 1/2 이하의 수치를 나타냈다.

옥잠화의 초장, 엽장, 엽폭 등은 처리농도가 높을수록 감소하는 경향을 보였다. 특히, 엽수는 대조구에 비해 0.5% 처리구에서는 약 1/2의 수치를, 1.0% 처리구에서는 약 1/4 정도밖에 미치지 않아 확연한 차이를 보였다.

마삭줄은 수고, 엽장 등이 대조구와 0.5% 간의 통계적 유의차는 없었지만, 0.5%와 1.0% 처리구간에는 뚜렷한 차이를 보였다. 특히, 엽수는 0.5% 처리구에서 22개, 1.0% 처리구에서 10개로 1/2 이상 감소하였다. 이는 염분 농도에 따라 마삭줄의 생육을 평가한 연구(강기호, 2010)에서 염분농도가 클수록 초장, 근장, 엽면적이 줄어드는 등 생장에 큰 피해를 입었다는 결과와 일치하였다.

순비기나무의 수고는 대조구, 0.5%, 1.0% 처리구에서 각각 17.6, 13.8, 13.1cm로 처리농도가 높을수록 감소하였으나 통계적인 유의성은 없었다. 엽수에서도 대조구에서 22.5개, 0.5% 처리구에서 23.5개, 1.0% 처리구에서 21.3개로 점차 감소하는 경향을 보였으나, 유의적인 차이는 없었다. 이러한 결과는 순비기나무가 일반적으로 해안지역에 자생하며, 염에 대한 내성이 큰 식물로 알려져 있어(김계환 등, 2007), 3.0%의 고농도 처리구를 제외하고, 대조구와의 차이가 거의 없었던 것으로 분석된다.

사철나무의 수고는 대조구와 0.5% 처리구 간의 차이가 거의 없는 반면, 1.0%와 3.0% 처리구와 확연한 차이를 보였다. 엽장은 3.0% 처리구에서 가장 높은 값을 가졌으나, 고사한 식물의 잎은 제외하고 측정하여 다른 처리에 비해 표본수가 적어 상대적으로 평균값이 높게 산정되었다. 엽수는 염화칼슘 농도처리가 높을수록 감소하였다.

작살나무의 수고, 엽장, 엽폭에 있어 대조구와 0.5% 처리구 간의 유의차는 뚜렷하지 않은 반면, 엽수는 대조구에서 43.7개, 0.5% 처리구에서 16.7개로 2배 이상의 차이를 보였다. 1.0% 처리구와 3.0% 처리구는 실험기간 중 개엽하지 않아 조기 고사하였다. 모든 식물에서 염화칼슘 처리농도 3.0%는 처리 이후 약 15일 경과 시 모두 고사하였다(Table 3 참조).

따라서, 염화칼슘 3.0% 농도처리에서 대부분의 지피식물이 고사해, 내성 정도는 0.5~1.0% 범위인 것으로 판단된다. 서울시의 주요 가로변 토양을 분석한 결과, 전기전도도는 0.05~2.37ds/m의 범위로 측정되었는데(김권래 등, 2002), 이를 농업기술연구소(1988)의 실험식(EC1:5추정치 X 0.32)에 의한 환산으로 염 농도를 추정한 결과 0.02~0.80%로 계상되었다. 본 실험의 염화칼슘 농도 0.5~3.0%의 각각의 염 농도는 약 0.4%, 0.8%, 1.2%로 서울시 가로변의 염 농도가 본 실험의 0.5~1.0%

Table 3. Growth of the ground cover plants as grown in calcium chloride concentration in amended soil

Plants	Treatments (%)	Plant growth(cm)			No. of leaves
		Plant height	Leaf length	Leaf width	
<i>Pachysandra terminalis</i>	Control	19.4 a*	4.0 a	1.8 a	79.5 a
	0.5	17.7 a	3.8 a	1.7 a	32.3 b
	1.0	17.6 a	2.6 b	1.7 b	17.3 b
	3.0	-	-	-	-
<i>Hosta plantaginea</i>	Control	26.6 a	10.3 a	8.5 a	5.0 a
	0.5	15.2 b	8.1 a	5.2 b	2.5 b
	1.0	14.9 b	8.1 a	4.9 b	1.3 c
	3.0	-	-	-	-
<i>Trachelospermum asiaticum</i>	Control	18.6 a	3.1 a	1.0 a	32 a
	0.5	17.5 a	3.3 a	0.8 ab	22 ab
	1.0	13.0 b	1.8 b	0.7 b	10 b
	3.0	-	-	-	-
<i>Vitex rotundifolia</i>	Control	17.6 a	1.4 a	0.9 a	22.5 a
	0.5	13.8 a	1.2 a	0.7 a	23.5 a
	1.0	13.1 a	1.4 a	0.7 a	21.3 a
	3.0	-	-	-	-
<i>Euonymus japonica</i>	Control	34.0 a	3.6 b	1.8 a	119.9 a
	0.5	30.6 a	3.5 b	1.8 a	78.9 b
	1.0	26.0 b	3.4 b	1.7 a	37.9 c
	3.0	25.8 b	4.3 a	1.7 a	30.1 c
<i>Callicarpa japonica</i>	Control	40.3 a	3.8 a	1.3 a	43.7 a
	0.5	34.9 a	3.7 a	1.0 a	16.7 b
	1.0	-	-	-	-
	3.0	-	-	-	-

*Different letters in the same column indicate significant difference according to Duncan's multiple range test (n = 10 plants)

처리농도의 수치와 근접한 것을 확인할 수 있다. 그러나 실제 체체체의 오염을 받은 눈의 염 농도는 0.87~5.00% 이상으로 측정되었다(신진호 등, 2001). 이에 눈으로 인한 토양 염 농도의 상승으로 본 실험의 처리농도 3.0% 이상에 해당되는 높은 수치의 농도에 식물이 노출될 가능성이 있어, 토양의 물 세척과 같은 방법으로 염분농도를 낮추어 식물 피해를 감소시킬 필요성이 있다.

2) 생체중 및 견체중

식물의 생체중 및 견체중을 측정함으로써 외형적으로 드러나지 않는 객관적인 수치로서 염화칼슘의 피해 정도를 분석할 수 있다.

수호초의 전체 견체중은 대조구, 0.5%, 1.0%, 3.0% 처리구에서 각각 9.2, 1.9, 0.6, 0.2mg/plant로 염화칼슘의 비율이 높아질

수목 낮은 수치를 보였다.

옥잠화의 생체중 및 전체중은 대조구에서 각각 40, 18.7mg/plant로 염화칼슘 처리 유무에 따라 극명한 차이를 보였으나, 염화칼슘 처리구간의 통계적인 차이는 뚜렷하지 않았다.

마삭줄의 생체중은 지상부와 지하부에서 모두 염화칼슘 처리농도가 높을수록 감소하였으나 확연한 차이는 보이지 않았다. 전체중 역시 생체중과 마찬가지로 대조구(1.0mg/plant), 0.5%(0.9mg/plant), 1.0%(0.6mg/plant), 3.0%(0.5 mg/plant) 순으로 점차 낮아졌으나, 통계적 유의차는 낮았다.

순비기나무는 대조구에서 지상부, 지하부 생체중이 각각 9.6, 3.7mg/plant로 실험구 중 가장 높은 수치를 보였다. 전체 전체중은 대조구, 0.5%, 1.0%, 3.0%에서 각각 7.5, 0.6, 0.3, 0.1mg/plant로 염화칼슘 농도비율이 높아질수록 감소하였다.

사철나무의 전체 생체중은 대조구와 0.5% 처리구에서 각각 34.3, 18.9mg/plant로 뚜렷한 차이를 보였다. 전체 전체중의 경우 대조구, 0.5%, 1.0%, 3.0%가 16.8, 7.1, 5.4, 7.7mg/plant 순

으로 측정되어, 감소하는 경향이 비교적 뚜렷했다.

작살나무의 전체 생체중은 대조구에서 9.3mg/plant, 0.5% 처리구에서 7.5 mg/plant, 1.0% 처리구에서 5.9mg/plant, 3.0% 처리구에서 4.8mg/plant로, 염화칼슘 농도처리가 높을수록 수치가 낮았으나 통계적 유의차는 없었다(Table 4 참조).

일반적으로 식물이 염 스트레스를 겪게 되면 식물의 잎과 줄기, 뿌리의 생체중 및 전체중을 상당히 감소시킨다고 알려져 있으며(Charouzoulakis and Klapaki, 2000), 실제로 소나무와 참싸리, 열무, 강낭콩을 대상으로 한 실험에서 제설제의 농도가 증가함에 따라 식물의 전체중이 감소하였는데, 특히, 3.0% 이상의 경우에 감소율이 큰 것으로 나타났다(신승숙 등, 2007).

3) 엽록소 함량

엽록소 함량은 식물이 광합성을 하는데 필수적인 색소로 알려져 있고, 지구상에 가장 많은 색소 가운데 하나이다. 엽록소 함량은 일반적으로 광합성 능력에 비례하는 것으로 알려져 있

Table 4. Effect of the different calcium chloride on the biomass of the ground cover plants in the amended soil

Plants	Treatments(%)	Plant biomass(mg/plant)					
		Shoot F.W. ^y	Root F.W.	Total F.W.	Shoot D.W.	Root D.W.	Total D.W.
<i>Pachysandra terminalis</i>	Control	11.6 a ^z	4.5 a	16.0 a	6.4 a	2.7 a	9.2 a
	0.5	2.3 b	0.9 b	3.1 b	1.4 b	0.5 b	1.9 b
	1.0	0.4 b	0.1 b	0.5 b	0.1 b	0.1 b	0.6 b
	3.0	0.5 b	0.1 b	0.8 b	0.3 b	0.2 b	0.2 b
<i>Hosta plantaginea</i>	Control	11.5 a	28.6 a	40.1 a	7.2 a	11.5 a	18.7 a
	0.5	3.1 b	6.9 b	9.9 b	2.3 ab	3.4 b	4.9 b
	1.0	4.8 ab	10.2 b	14.9 b	1.4 ab	5.1 b	7.4 b
	3.0	0.2 b	0.7 b	0.9 b	0.1 b	0.5 b	0.7 b
<i>Trachelospermum asiaticum</i>	Control	1.2 a	0.8 a	2.0 a	0.7 a	0.2 a	1.0 a
	0.5	0.9 a	0.8 a	1.7 a	0.5 a	0.4 a	0.9 a
	1.0	0.4 a	0.5 a	0.8 a	0.1 a	0.4 a	0.6 a
	3.0	0.6 a	0.4 a	1.0 a	0.3 a	0.2 a	0.5 a
<i>Vitex rotundifolia</i>	Control	9.6 a	3.7 a	13.3 a	5.2 a	2.3 a	7.5 a
	0.5	0.8 b	0.3 b	1.1 b	0.5 b	0.1 b	0.6 b
	1.0	0.6 b	0.2 b	0.9 b	0.2 b	0.1 b	0.3 b
	3.0	0.1 b	0.6 b	0.1 b	0.1 b	0.0 b	0.1 b
<i>Euonymus japonica</i>	Control	9.2 a	25.1 a	34.3 a	5.0 a	11.7 a	16.8 a
	0.5	2.8 b	16.2 ab	18.9 ab	1.5 ab	5.7 ab	7.1 ab
	1.0	1.9 b	10.5 b	12.8 b	1.0 a	4.4 a	5.4 b
	3.0	2.8 b	12.2 b	15.1 b	1.3 ab	6.2 ab	7.7 ab
<i>Callicarpa japonica</i>	Control	3.4 a	6.2 a	9.3 a	2.9 a	1.3 a	4.0 a
	0.5	3.0 a	4.4 a	7.5 a	2.3 a	1.0 a	3.3 a
	1.0	2.5 a	3.4 a	5.9 a	2.3 a	0.9 a	3.2 a
	3.0	2.8 a	1.9 a	4.8 a	2.3 a	0.5 a	2.9 a

^z Different letters in the same column indicate a significant difference at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test(n=10).

^y F.W.=fresh weight, D.W.=dry weight. W.C.=water content, root to shoot ratio(R/S) was calculated from the final DW data

는데, 식물의 엽록소 함량은 스트레스를 받으면 황화나 백화현상으로 붕괴되는 현상을 보여준다(우수영 등, 2004). 따라서 엽록소 함량을 분석하여 광합성 효율을 간접적으로 추정함으로써 식물의 엽화칼슘 피해 정도를 파악할 수 있다.

옥잠화의 엽록소 함량의 경우, 측정값 간의 변별력이 부족하여 제외하였으며, 작살나무는 실험기간 중 엽화칼슘 처리구에서 개엽하지 않아 엽록소 함량 측정이 불가능하였다.

엽화칼슘 농도처리에 따른 수호초의 엽록소 함량은 각각 대조구에서 24.1, 0.5% 처리구에서 23.1, 1.0% 처리구에서 18.4의 수치를 보여, 처리농도가 높을수록 엽록소 함량이 감소되는 경향을 보였다.

마삭줄의 경우, 대조구에서 43, 0.5% 처리구에서 27.9, 1.0% 처리구에서 14.0의 엽록소 함량을 가지고 있는 것으로 나타났다. 순비기나무는 실험에 적용한 다른 식물과 마찬가지로 대조구에서 33.7, 0.5% 처리구에서 30.4, 1.0% 처리구에서 26.3으로 엽화칼슘의 처리농도가 높을수록 감소되었다.

사철나무는 대조구에서 42.6, 0.5% 처리구에서 33.7, 1.0% 처리구에서 20.4, 3.0% 처리구에서 18.5로 엽화칼슘의 농도처리가 높을수록 낮아졌다. 0.5%와 1.0% 처리구간의 차이는 13.3으로

비교적 높았고, 1.0%와 3.0%의 처리구간의 차이는 1.9로 상대적으로 미비했다(Figure 1 참조).

대부분의 식물에서 엽화칼슘 처리농도가 증가할수록 엽록소 함량이 감소하였는데, 산딸나무를 대상으로 한 연구(성주한 등, 2009)와 일치하는 결과이다. 엽분에 대한 콩의 생리학적 반응 연구(천상욱과 박종환, 2003)에서는 대조구에 비해 엽분 처리구에서 16~60%까지 엽록소 함량이 감소하였고, 미치광이풀에서도 엽 스트레스에 의해 엽록소 함량이 감소한 것으로 보고되었다(Parida and Das, 2005). 엽 스트레스는 식물체 잎의 엽록소 함량에 영향을 미쳐, 엽록체의 광인산화반응을 방해하여 광합성을 억제시키고, 광합성에 이용되지 못한 다량의 전자는 산소분자에 전달되어 유해한 활성산소를 생성하게 된다(Mehta et al., 2010). 따라서 엽화칼슘 처리에 따른 식물 스트레스 반응으로 엽록소 함량이 증가함에 따라 식물의 생육 및 생리작용에 악영향을 미친 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 일반상토에서 엽화칼슘 처리농도에 따른 가로변

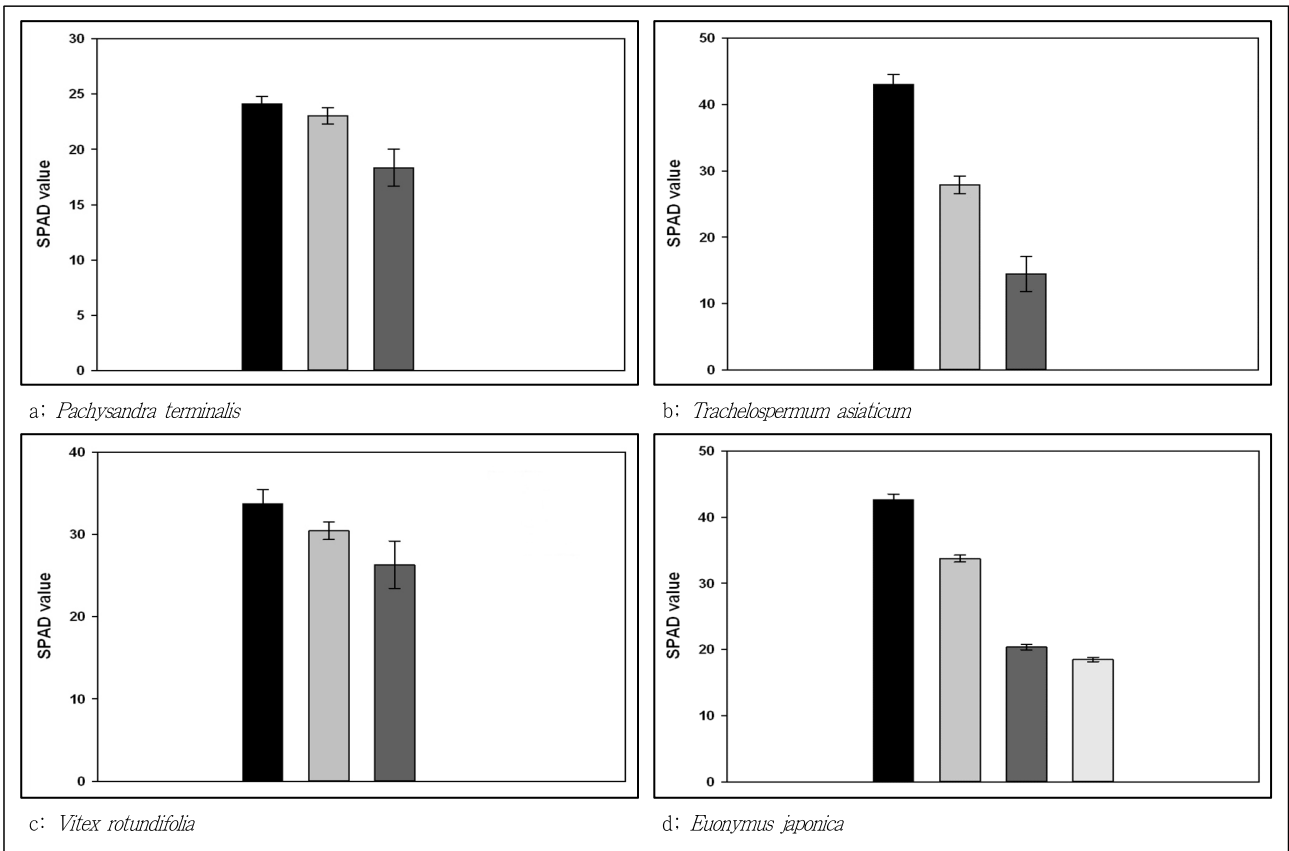


Figure 1. Chlorophyll contents of ground cover plant as affected by a different calcium chloride concentration levels in the amended soil. Vertical bars represent standard error bars.

범례: ■ Control □ 0.5% ■ 1.0% □ 3.0%

지피식물의 생육을 평가함으로써 효율적인 가로변 지피식물로의 적용과 적정관리에 대한 자료를 제공하고자 수행하였으며, 결과는 다음과 같다.

염화칼슘 처리농도에 따라 초기 약산성의 토양이 염화칼슘 처리에 따라 중성화되었으며, 전기전도도는 지속적으로 감소하였고, 치환성 칼슘은 염화칼슘 처리 직후 증가하였으나 시간이 경과됨에 따라 감소하였다.

식물의 생육과 생체중 및 견체중은 대부분 염화칼슘의 처리농도가 증가할수록 감소하였으며, 특히, 엽록소 함량의 경우 선행연구와 마찬가지로 감소의 처리농도의 증가에 따른 감소가 확연하게 드러남에 따라, 식물의 생육과 생리작용에 악영향을 미친 것으로 보인다. 수호초, 마삭줄, 사철나무는 염화칼슘 비율 0.5%까지 생육 정도가 양호하였다. 특히, 사철나무는 배수가 잘 되는 환경에서는 다른 환경영향을 배제할 경우 보다 높은 염화칼슘 농도에서도 생육이 가능할 것으로 판단되었다. 옥잠화, 순비기나무는 1.0%가 한계용량으로 나타났으며, 특히, 옥잠화는 토양의 수분세척 등의 과정을 통해 생육이 가능한 환경을 조성해 줄 경우, 충분히 가로변의 지피식제로 적용이 가능할 것이라 사료된다. 작살나무는 대조구를 제외한 염화칼슘 처리구에서 생육이 불량하고 개엽하지 않아 염화칼슘에 취약한 것으로 나타났으나, 같은 수종에서도 생육환경의 차이에 따라 제설제의 영향이 다르게 발생할 수도 있다는 선행연구와 관련하여 지속적인 연구가 필요할 것이라고 판단된다.

이상의 결과는 실제 가로환경이 아닌 제한된 환경조건에서 실험이 진행되었으며, 일부 식물을 대상으로 했다는 점에서 한계점을 가진다. 따라서 적절한 가로변 지피식물로의 적용 및 관리를 위해서는 다양한 식물과 환경에서 보다 복합적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

인용문헌

1. 강기호(2010) 조경조제이용을 위한 자생 상록만경류의 환경 내성 평가. 영남대학교 대학원 박사학위논문.
2. 과학기술부(2006) 조경용 초본 지피식물 개발에 관한 연구.
3. 국토해양부(2003) 제설에 관한 지침. p. 29.
4. 김계환, 박종민, 서병수, 윤세영(2007) 토양과 비배관리에 의한 순비기나무의 재배방법에 관한 연구. 한국환경생태학회지 21(6): 544-553.
5. 김권래, 이현행, 정창욱, 강지영, 박순남, 김계훈(2002) 서울시 주요 도로변 토양오염조사: 강동구, 광진구, 노원구, 서대문구, 성동구 내 주요 도로변 토양. 한국응용생명화학학회지 45(2): 92-96.
6. 김선화(2007) 입지유형별 가로수, 수목활력도 조사연구: 인천시 중앙공원길을 대상으로. 한국조경학회 추계학술대회 논문집 pp. 9-12.
7. 김선희, 성주한, 조재형(2012) 염화칼슘처리에 따른 은행나무와 느티나무의 생장 및 생리 반응 특성. 산림과학 공동학술대회집 pp. 236-238.
8. 김주성, 심이성, 김명조(2010) 염 스트레스에 대한 배추의 생리학적 반응. 한국원예학회지 28(3): 343-352.
9. 농업기술연구소(1988) 토양화학분석법.
10. 백성주(2012) 생태학적 식재를 위한 내염성 및 내조성 자생수종 선발: 전남 순천만을 중심으로. 순천대학교 대학원 석사학위논문.

11. 산림청(2002) 수목원 및 생태숲의 효율적인 조성과 운영·관리에 관한 연구.
12. 성주한, 제선미, 김선희, 김영걸(2009) 염화칼슘 처리가 산딸나무 잎의 광합성 기구, 기공전도도 및 형광이미지 특성에 미치는 영향. 한국농림기상학회지 11(4): 143-150.
13. 신성필, 양충현, 하동수, 백봉기, 차종선(2010) 제설제 추가 비축을 위한 적정량 추정에 관한 연구. 한국도로학회지 12(4): 21-54.
14. 신승숙, 박상덕, 조재웅, 이규승(2007) 친환경 제설제가 식물 생장에 미치는 영향. 대한토목학회 정기학술대회집 pp. 3794-3797.
15. 신진호, 허항록, 신정식, 김민영, 신재영(2001) 제설제가 환경에 미치는 영향 연구. 대한환경위생공학회지 16(4): 31-37.
16. 심명선, 김영재, 이정희, 신창호(2012) 여러 자생식물의 내염성 정도 구명. 한국생물환경조절학회지 21(4): 478-484.
17. 우수영, 이성환, 이동섭(2004) 대기오염 피해를 받은 서울 시내 가로수의 엽록소 함량과 광합성 특성. 한국농림기상학회지 6(1): 24-29.
18. 이경보, 강중국, Li, J., 이택배, 박찬원, 김재덕(2007) 간척지 토양개량을 위한 내염성 식물의 활용성 평가. 한국토양비료학회지 40(3):173-180.
19. 이한철, 강경희, 권기범, 최영하, 김희태(2002) NaCl 스트레스가 토마토, 고추, 가지의 생육, 광합성속도 및 무기양분 흡수에 미치는 영향. 한국생물환경조절학회 논문집 11(3): 133-138.
20. 조재형, 성주한, 제선미, 김영걸(2007) 염화칼슘처리에 따른 산딸나무와 산딸나무의 생장반응 특성. 한국원예학회 하계 학술연구발표회집 pp. 249-250.
21. 천상욱, 박종환(2003) 염분에 대한 콩의 생리학적 반응지표 연구. 한국환경농학회지 22: 185-191.
22. Aghaleh, M., V. Niknam, H. Ebrahimzadeh, and K. Razavi(2011) Effect of salt stress on physiological and antioxidative responses in two species of *Salicornia* (*S. persica* and *S. europaea*). Acta Physiol. Plant 33: 1261-1270.
23. Agnieszka, G., M. M. Zdzislaw, P. Rafal, D. Sabina, and M. Artur (2011) The influence of chloride deicers on mineral nutrition and the health status of roadside trees in the city of Kielce, Poland. Environ. Monit. Assess 176: 451-464.
24. Askri, H., S. Daldoul, A. B. Ammar, S. Rejeb, R. Jardak, M. N. Rejeb, A. Mliki, and A. Ghorbel (2012) Short-term response of wild grapevines (*Vitis vinifera* L. ssp. *sylvestris*) to NaCl salinity exposure : changes of some physiological and molecular characteristics. Acta Physiol. Plant 34: 957-968.
25. Chartzoulakis, K., and G. Klapaki (2000) Response of two green house pepper hybrid to NaCl salinity during different growth stages. Sci. Hort. 86: 247-260.
26. Izabela, C. K., K. Grzegorz, and D. Mariusz (2004) Effect of deicing salts on urban soils and health status of roadside trees in the Opole region. Wiley Periodicals, Inc. pp. 296-301.
27. Jones, P. H., B. A. Jeffery, P. K. Watler, and H. Uhtchon (1986) Environmental impact of road salting : state of the art, The resarch and development branch, Ontario Ministry of Transportation and Communication.
28. Mehta, P., A. Jajoo, S. Mathur, and S. Bharti (2010) Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. Acta Physiol. Plant 48: 16-20.
29. Parida, A. K., and A. B. Das (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants, Ecotoxicol. Environ. Saf. 60: 324-349.

원 고 접 수 일: 2013년 7월 4일
 심 사 일: 2013년 7월 24일(1차)
 계 재 학 정 일: 2013년 7월 24일
 3 인 의 명 심 사 필