

Research Article

Open Access

대체제설제인 EFD-1과 PC-10의 밀, 보리, 시금치 생육에 미치는 영향

이대원^{1*}

¹경성대학교 이과대학 생물학과

Effect of EFD-1 and PC-10 deicers on Growth of Wheat, Barley and Spinach

Dae-Weon Lee^{1*} (¹Department of Biology, Colleges of Science, Kyung Sung University, Busan 603-786, Korea)

Received: 21 January 2015 / Revised: 17 February 2015 / Accepted: 25 February 2015

Copyright © 2015 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

BACKGROUND: During the winter, the use of deicers was rapidly increased for reduction of traffic accidents as well as injuries in Korea, whose components are largely comprised of calcium chloride and sodium chloride. Recently, to reduce the adverse effects of chloride-deicers such as pollution of water and soil, and decrease of agricultural productivity, the attention of eco-friendly deicers have been increased. This study aimed to investigate biological effects of magnesium chloride deicer (PC-10) and organic acid deicer (EFD-1) against wheat, barley, and spinach.

METHODS AND RESULTS: We examined the effect of two deicers, PC-10 and EFD-1 on the seed germination and growth of wheat, barley and spinach. EFD-1 showed higher suppression of the germination than PC-10 among tested crop seeds. In damage index of the seedlings of the crops, there was no symptoms in spinach such as spotting and color change of leaves. EFD-1 showed much stronger inhibitory effect on the germination of tested crop seeds than PC-10 when crops were exposed continuously to tested deicers in soils. The growth and shoot and root in examined crops was relatively higher in PC-10 treatment than in

EFD-1 treatment when compared to the control. The biomass decrease was found in all examined conditions of deicers. PC-10 showed 23-35% reduction of biomass whereas EFD-1 exhibited 39-84% loss in all examined crops at over 2% concentration.

CONCLUSION: These results suggest that the effects of deicers used in this study by inputting into soil against growing tested crops cause the reduction of germination of seeds, growth, and biomass compared to the control.

Key words: Crops, Deicers, Germination, Seedling

서론

동절기 예상치 못한 폭설과 강추위 등의 기상변화가 빈번히 일어나고 있고, 이러한 기상현상은 우리나라도 예외는 아니다. 특히 동절기 강설에 의한 교통흐름지연, 시간손실, 물류지연 등의 경제적 손실은 국가의 경제발전에 장애가 되고 있다. 따라서 효과적인 제설을 통한 경제적 손실의 최소화가 매우 중요하다고 볼 수 있다. 전세계적으로 주로 사용되고 있는 제설제로는 염화칼슘과 염화나트륨이 있으며, 제설제의 효과를 증대시키기 위해, 이들 염화물계 제설제를 병합사용하기도 한다. 그러나 적설량이 3센티미터 이상인 경우에는 염화물계 제설제로는 충분한 효과를 보지 못하기 때문에, 마찰력을 부여하기 위해 모래를 섞어 사용하기도 한다. 이러한 병합사용

*Corresponding author: Dae-Weon Lee
Phone: +82-51-663-4644; Fax: +82-51-627-4645;
E-mail: daeweonlee@ks.ac.kr

은 사용초기 매우 높은 제설효과 및 미끄럼 방지효과를 거둬으로써 사고예방에 도움을 줄 수 있으나, 모래의 분쇄에 의한 미세먼지 증가와 배수로 등을 막을 수 있기 때문에, 오히려 처리비용이 더 증가되기도 한다. 뿐만 아니라 염화물계 제설제는 염소이온을 다량 함유하고 있기 때문에 도로 및 건물의 부식, 수질 오염 등의 주요원인으로 파악되고 있다(Chun and Kim, 1995). 특히 과도한 염소이온의 유입은 수생태계 오염과 식수자원의 오염을 불러올 수 있다. 또한 염화물계 제설제는 도로변의 가로수 및 농작물의 생육에 영향을 미치며, 토양유입으로 식물뿌리에 흡수되어, 식물의 발아, 생장 등에 영향을 미칠 수 있다(Gibbs and Burdeki, 1983; Viskari and Karenlampi, 2000; Bryson and Barker, 2002; Kim and Lee, 2014).

위에서 언급한 부작용들로 인한 염화물계 제설제들을 대체하기 위해 1980년초에 대체 제설제로 calcium magnesium acetate (CMA)가 개발되었다. CMA는 염화물계 제설제가 안고 있던 콘크리트 구조물의 부식과 자동차의 부식에 대한 문제점을 저감하는 효과가 있는 것으로 입증되었다(Salcedo and Jensen, 1987). CMA의 뛰어난 저감효과에도 불구하고 염화물계 제설제보다 높은 생산비는 상용화에 큰 걸림돌로 지적되었다. 이후 폐기물을 활용한 저비용 제설제로 calcium magnesium propionate (CMP)가 개발되었다. 특히 미생물을 이용한 발효공정을 통한 calcium magnesium organic acids (CMO) 생산법은 유기산을 주성분으로 하는 제설제의 생산비를 크게 낮춰 주었으며(Lee *et al.*, 2004), 용빙성능에서도 기존의 제설제와 비슷하면서 구조물에는 영향을 미치지 않았다(Lee *et al.*, 2005). 유기산과 더불어 주성분인 Ca과 Mg은 식물의 영양염류로써 활용가능하기 때문에 도로주변의 작물이나 가로수에 영향을 주지 않은 신개념의 개선훈제로 생각되고 있다. 이후 음식물 쓰레기를 재료로한 발효액을 이용하여 유기산 제설제 Eco-friendly deicer (EFD)가 개발되었다. EFD 제설제의 용빙성능의 평가는 기존의 제설제와 큰 차이를 보이지 않았으며, 식물의 생장에 영향을 주지 않은 것으로 보고되었다.

본 연구에서는 식물생장 저해 등의 문제점을 가진 염화물계 제설제의 대체제로 개발된 염화마그네슘계열의 PC-10과 유기산 계열의 EFD-1에 대해 밀, 보리, 시금치의 작물에 대한 발아, 토양내 처리시의 생장, 생체량의 변화를 분석하고, 주요 발작물에 대한 제설제들의 영향을 평가하였다.

재료 및 방법

제설제 시료

본 연구에 사용된 염화마그네슘 계열의 PC-10 (성보화학, 한국)은 곡물에서 추출한 물질과 염화마그네슘 헥사하이드레이트(Magnesium Chloride Hexahydrate)를 혼합한 제설제로 알려져 있으며, 초산 기반의 EFD-1 (27.9% KOH, 37.9% Acetic acid, 19.0% propionic acid, 10.4% NaCl, 4.8%

Water)을 준비하고 작물영양성 평가에 사용하였다.

제설제의 작물발아에 미치는 영향

평가 대상 작물은 동절기 작물들인 서둔찰보리, 백중밀, 시금치(품종: 프렌드, Friend)를 선정하였고, 평가항목은 발아에 미치는 영향, 생육에 미치는 영향, 제설제의 토양 축적에 의한 종자 발아 및 작물 생장에 미치는 영향 등을 중심으로 조사하였다. 제설제 2종(PC-10, EFD-1)을 1, 2, 3, 5%로 물에 녹여 수용액으로 준비하였다. 페트리디쉬(직경 9 cm)에 여지(Watman #2, 10 cm)를 깔고 준비된 시험용액을 3 ml 씩 처리한 후, 각 평가 대상 작물들의 종자를 50개씩 여지 위에 올려 두었다. 페트리디쉬 뚜껑을 닫아 온실조건에서 발아율을 7일 동안 3반복으로 조사하였다. 시금치의 경우는 미리 4°C 저온처리를 72시간 실시한 후, 7일 동안 발아율을 조사하였다.

제설제의 생육 중인 작물에 미치는 영향

본 시험은 작물이 노지에서 자라고 있을 때 주변 도로에 제설제가 처리된 후, 비산이나 자동차로 인한 물 튀김 현상으로 작물에 분무되었을 때 나타나는 영향을 평가하기 위해 이뤄졌다. 각 작물을 포트(직경 6.5/8 cm)에 파종하고 약 2주 후 핸드스프레이로 25회(96.3±0.39 g) 제설제 2종(EFD-1, PC -10)을 1, 2, 3, 5%의 농도로 희석한 후, 준비된 수용액을 3종 작물에 골고루 분무 처리하였다. 2일 후 동일하게 2차 처리를 하였고, 처리 3일 후 반점, 변색, 고사 등의 변화를 농약시험기준에 따른 제초제 약해 평가 등급에 맞춰 평가하였다. 시험은 4반복으로 실시하였다.

토양 내 유입된 제설제가 작물 발아 및 생육에 미치는 영향

본 시험은 겨울철 사용된 제설제들이 농지로 유입되었을 때 작물의 발아나 생육에 영향을 미칠 수 있는 지를 조사하기 위해 시행되었다. 제설제 2종(EFD-1, PC-10)을 1, 2, 3, 5%로 준비하고 스페시먼컵(플라스틱, 직경 6.5/8 cm)에 토양 30 g을 넣은 후 시험용액 30 ml를 처리하였다. 각 처리된 처리구 및 무처리구에 보리와 밀 종자 10본씩을 파종하였고 시금치는 20본씩 파종하였다. 4반복으로 실시한 후 2주 동안 발아율을 조사하였다. 또한 약 1개월(30일) 동안 토양 처리에 따른 시험대상 3종 작물들의 생육에 미치는 영향을 보기 위해 발아된 작물들의 지상부 초장을 측정하였고, 관찰 종료 시점에 지상부 및 뿌리의 체장을 조사하고 마지막으로 건조시켜 생체량을 측정하였다.

통계분석

제설제 처리에 따른 작물 발아율 및 생장에 미치는 영향에 대해, 제시된 자료들의 처리군들의 평균 간 통계적인 유의성 비교는 본페로니 다중검정법(Bonferroni multiple-comparison method)을 이용하였고, 모든 결과는 3반복(n=3) 처리하였고, 평균±표준오차(SE) 값으로 제시하였다.

Table 1. The effect of deicers against the germination of wheat seeds (n=3)

Material	Conc. (%)	Mean±SE, %						
		1 DAT	2 DAT	3 DAT	4 DAT	5 DAT	6 DAT	7 DAT
EFD-1	0	0.0±0.0 c	52.0±6.4 a	67.0±2.4 a	79.0±2.0 a	84.0±2.7 a	84.0±2.9 a	85.0±2.7 a
	0.1	0.0±0.0 c	10.0±3.1 c	30.0±1.2 c	37.0±1.8 c	43.0±1.8 c	48.0±2.3 bc	51.0±2.7 bc
	0.2	0.0±0.0 c	5.0±0.7 c	15.0±1.3 d	19.0±1.8 d	28.0±2.3 d	33.0±1.8 cd	39.0±2.4 cde
	0.5	0.0±0.0 c	1.0±0.7 c	7.0±1.8 d	9.0±0.7 e	14.0±1.2 e	17.0±0.7 e	25.0±2.4 e
	1	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f	0.0±0.0 g	0.0±0.0 f	0.0±0.0 f
	2	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f	0.0±0.0 g	0.0±0.0 f	0.0±0.0 f
	3	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f	0.0±0.0 g	0.0±0.0 f	0.0±0.0 f
	5	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f	0.0±0.0 g	0.0±0.0 f	0.0±0.0 f
PC-10	0	16.0±2.3 a	56.0±4.6 a	70.0±1.2 a	80.0±2.3 a	82.0±2.6 a	84.0±2.5 a	85.0±2.6 a
	1	8.0±1.2 b	29.0±2.4 b	56.0±4.2 b	52.0±1.8 b	70.0±2.3 b	76.0±1.9 ab	80.0±1.7 ab
	2	1.0±1.3 c	10.0±3.1 c	14.0±2.3 d	12.0±5.7 de	34.0±2.1 c	51.0±6.7 b	60.0±5.3 b
	3	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	3.0±0.7 de	4.0±1.7 e	21.0±5.0 fg	34.0±2.8 cd	49.0±3.5 bcd
	5	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.0±0.0 e	0.0±2.6 f	7.0±4.0 fg	20.0±2.5 ef	36.0±2.5 de

Table 2. The effect of deicers against the germination of barley seeds (n=3)

Material	Conc. (%)	Mean±SE, %						
		1 DAT	2 DAT	3 DAT	4 DAT	5 DAT	6 DAT	7 DAT
EFD-1	0	13.0±2.4 a	51.0±3.7 a	67.0±2.4 a	80.0±1.8 a	85.0±2.4 a	85.0±2.6 a	86.0±2.4 a
	0.1	0.0±0.0 c	16.0±3.1 bc	26.0±3.5 cd	37.0±3.5 b	43.0±3.5 b	47.0±3.5 b	51.0±6.4 bc
	0.2	0.0±0.0 c	12.0±4.0 bc	16.0±2.3 de	23.0±4.8 c	25.0±2.9 cd	31.0±0.7 c	35.0±2.4 cde
	0.5	0.0±0.0 c	2.0±1.2 d	7.0±1.8 def	7.0±2.4 d	11.0±2.4 def	17.0±2.9 d	22.0±4.2 e
	1	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.0±0.0 f	0.0±0.0 d	0.0±0.0 f	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f
	2	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.0±0.0 f	0.0±0.0 d	0.0±0.0 f	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f
	3	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.0±0.0 f	0.0±0.0 d	0.0±0.0 f	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f
	5	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.0±0.0 f	0.0±0.0 d	0.0±0.0 f	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f
PC-10	0	13.0±2.4 a	46.0±2.3 a	65.0±3.7 a	84.0±2.2 a	86.0±2.6 a	88.0±2.6 a	88.0±2.6 a
	1	7.0±1.8 b	29.0±3.5 b	40.0±4.2 b	64.0±6.3 a	71.0±4.6 a	75.0±4.8 a	77.0±5.1 a
	2	5.0±1.3 b	22.0±3.5 bc	30.0±4.1 bc	30.0±6.9 bc	40.0±2.7 bc	57.0±3.5 b	63.0±3.3 b
	3	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	1.0±0.7 f	3.0±1.6 d	10.0±4.7 de	35.0±4.8 cd	48.0±4.4 bcd
	5	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.0±0.0 f	0.0±0.0 d	5.0±2.6 ef	14.0±3.8 cd	30.0±6.5 de

결과 및 고찰

제설제 처리에 대한 조사작물의 발아율

백중밀 종자 발아는 시험제설제 노출 4일까지는 2종의 제설제 모두 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 전체적으로 농도가 높아짐에 따라 발아율이 줄어드는 농도 의존적인 경향을 보였다(Table 1). PC-10 1% 농도는 5일 이후부터는 무처리구와 비슷한 발아율을 보였다. 하지만 2% 이상의 농도 수준에서는 발아율을 현저하게 감소시키는 경향을 보였고, 5% 고농도에서는 무처리구에 비해 발아가 절반가량 일어나는 것으로 나타났다. 반면 EFD-1은 준비한 1~5%에서는 발아가

전혀 일어나지 않았고, 실험한 0.1%의 저농도에서도 51%의 발아율을 보였고, 0.2%에서는 39%로 발아율이 크게 감소하는 경향을 보였다(Table 1).

서둔찰보리 종자 발아에 있어 시험제설제들은 백중밀 발아에 미치는 영향과 비슷한 양상을 띠었다. PC-10 1%는 처리 4일까지 발아율이 더디게 이뤄지다가 5일 이후부터는 발아율이 증가하여 무처리구와 비슷한 발아 특성을 보였다(Table 2). 처리 7일 후, 2%와 3% 처리구에서 서둔찰보리 종자 발아율은 각각 63%와 48%를 보였으며, 무처리구 88%에 비해 발아율이 영향을 받는 것으로 나타났다. 5% 농도에서는 발아율이 30%로 크게 영향을 받았다. EFD-1은 백중밀

Table 3. The effect of deicers against the germination of spinach seeds (n=3)

Material	Conc. (%)	Mean±SE, %						
		1 DAT	2 DAT	3 DAT	4 DAT	5 DAT	6 DAT	7 DAT
EFD-1	0	17.0±2.0 a	31.0±3.1 a	44.0±2.4 a	47.0±4.8 a	60.0±3.5 a	65.0±4.2 a	77.0±2.5 a
	0.1	7.0±1.3 bc	25.0±1.8 a	39.0±1.8 ab	50.0±1.2 a	54.0±2.4 ab	62.0±2.0 a	71.0±1.8 b
	0.2	3.0±0.7 c	13.0±2.7 bc	27.0±5.7 bc	37.0±2.9 b	43.0±2.9 bc	47.0±3.5 b	52.0±1.2 c
	0.5	0.0±0.0 c	2.0±0.0 def	8.0±1.2 de	13.0±2.7 de	25.0±2.9 d	30.0±3.1 cd	36.0±2.3 d
	1	0.0±0.0 c	1.0±0.4 ef	2.0±0.8 e	4.0±1.4 ef	6.0±1.6 ef	9.0±1.5 ef	15.0±4.0 e
	2	0.0±0.0 c	0.0±0.0 f	0.0±0.0 e	1.0±0.7 f	2.0±1.2 f	3.0±1.3 f	5.0±1.8 f
	3	0.0±0.0 c	0.0±0.0 f	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f	0.0±0.0 f	2.0±1.2 f	3.0±2.4 f
	5	0.0±0.0 c	0.0±0.0 f	0.0±0.0 e	0.0±0.0 f	0.0±0.0 f	0.0±0.0 f	0.0±0.0 f
PC-10	0	19.0±1.8 a	36.0±4.6 a	45.0±3.7 a	40.0±8.1 a	54.0±5.0 ab	57.0±4.4 a	72.0±2.3 ab
	1	13.0±1.3 ab	22.0±1.2 ab	34.0±2.0 ab	36.0±4.0 b	46.0±3.1 bc	48.0±3.1 b	50.0±2.0 c
	2	5.0±1.8 c	12.0±3.1 bcd	29.0±2.4 abcd	31.0±0.7 bc	39.0±1.8 c	37.0±2.9 bc	39.0±1.8 d
	3	3.0±1.3 c	11.0±2.9 cde	18.0±1.2 cd	22.0±1.2 cd	27.0±1.8 d	30.0±1.2 dc	31.0±1.3 de
	5	1.0±0.7 c	9.0±2.9 cdef	9.0±3.7 de	13.0±1.8 de	19.0±0.7 de	24.0±2.3 de	26.0±1.2 e

Table 4. The damage index of wheat, barley and spinach seedling exposed to the mist of deicers (n=3)

Material	Conc. (%)	Index*, Mean±SE		
		Wheat	Barley	Spinach
PC-10	0	0.0±0.0 c	0.0±0.0 d	0.0±0.0 a
	1	1.0±0.0 b	1.0±0.0 cd	0.0±0.0 a
	2	1.3±0.2 ab	1.3±0.2 cd	0.0±0.0 a
	3	1.5±0.3 ab	1.8±0.2 ab	0.0±0.0 a
	5	2.0±0.0 a	2.0±0.0 a	0.0±0.0 a
EFD-1	1	1.3±0.2 ab	1.0±0.0 cd	0.0±0.0 a
	2	2.0±0.0 a	2.0±0.0 a	0.0±0.0 a
	3	2.0±0.0 a	2.0±0.0 a	0.0±0.0 a
	5	2.0±0.0 a	2.3±0.2 a	0.0±0.0 a

* The damage index of tested crops by deicers was based on the Korean Pesticide Control Act. 0, no damage; 1, slightly weak spot or the change of leaf color is observed, but not different from control; 2, spot, the change of leaf color or the elongation inhibition of leaf is slightly observed but there is no effect on the growth of an exposed crop after rapid recovering; and 3, spot, the change of leaf color or the elongation inhibition of leaf is distinctly observed but when we expect that there is no effect on the gross production of an exposed crop.

발아양상과 비슷하게 1~5% 농도에서는 발아가 전혀 일어나지 못했다. 저농도 수준들인 0.1, 0.2, 0.5% 농도에서 7일 후 발아율은 각각 51, 35, 22%로 백중밀 발아율과 비슷한 경향을 나타냈다(Table 2).

시금치 종자의 발아는 농도의존적으로 발아율이 영향을 받았지만, 밀이나 보리 종자에 비해 상대적으로 시험제설제들의 노출에 강한 특성을 보였다(Table 3). PC-10 1, 2, 3, 5% 처리구들은 처리 7일 후, 각각 50, 39, 31, 26%의 발아율을 보여 무처리구 발아율 72%에 비해 영향을 받는 것으로 나타났다. 상기 농도에서 EFD-1 처리구들의 시금치 종자 발아율은 15, 5, 3, 0%로 강하게 영향을 받았다. 하지만 0.1%의 저농도 처리에서는 무처리구와 비슷한 71% 발아율을 나타냈다.

0.2%와 0.5% 처리구들 역시 발아에 영향을 미쳐 52%와 36%의 발아율을 보였다. 이상의 결과를 종합해 보면, 시험이 이뤄진 PC-10과 EFD-1 제설제들은 밀, 보리, 시금치 종자 발아에 있어, EFD-1이 상대적으로 작물발아에 강한 영향을 미쳤다. 하지만 PC-10도 2% 이상의 고농도에서는 시험 작물들의 종자 발아에 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 이상의 결과는 유기산 화학물질로 만든 인위적인 제설제가 작물발아에 좋지 않은 영향을 준다는 보고 (Shin *et al.*, 2010)와 일치한다.

제설제가 작물생육에 미치는 영향

제설제가 실제 노지에서 자라고 있는 작물들에 영향을 미

Table 5. The effect of deicers in soil against the germination of wheat, barley and spinach seeds (n=3)

Material	Conc. (%)	Mean±SE, %																	
		5DAT*			10DAT			15DAT			20DAT			25DAT			30DAT		
		W**	B**	S**	W	B	S	W	B	S	W	B	S	W	B	S	W	B	S
Control	0	40.0±9.1a	40.0±9.1a	37.5±3.2a	65.0±4.5a	55.0±6.5a	57.5±0.1a	75.0±2.9a	72.5±8.5a	67.5±6.0a	85.0±5.0a	80.0±4.1a	82.5±1.4a	85.0±5.0a	82.5±4.8a	86.3±2.4a	85.0±5.0ab	82.5±4.8a	86.3±2.4a
	1	22.5±6.3ab	27.5±2.5ab	30.0±4.1a	42.5±11.1ab	37.5±4.8ab	48.8±0.1a	67.5±6.3ab	65.0±6.5ab	53.8±2.4ab	80.0±4.1ab	80.0±4.1a	72.5±3.2a	87.5±2.5a	82.5±4.8a	82.5±1.4ab	87.5±2.5a	82.5±4.8a	86.3±1.3a
	2	17.5±4.8bc	25.0±6.5abc	6.3±4.7b	27.5±2.5bc	35.0±6.5abc	47.5±0.3a	50.0±4.1bc	52.5±6.3ab	72.5±4.8ab	70.0±7.1ab	67.5±4.3ab	82.5±2.5ab	82.5±4.8a	83.8±1.3ab	85.0±2.9ab	82.5±4.8a	83.8±1.3a	86.3±1.3a
	3	7.5±2.5bc	7.5±4.8bcd	1.3±1.3b	17.5±4.8bcd	25.0±2.9bcd	40.0±0.4a	30.0±4.1cd	40.0±4.1bc	52.5±1.4ab	70.0±4.1abc	56.3±1.3bc	77.5±2.5abc	75.0±2.9ab	76.3±2.4ab	77.5±2.5ab	75.0±2.9ab	76.3±2.4ab	76.3±2.4ab
	5	7.5±2.5bc	5.0±2.9cd	0.0±0.0b	15.0±6.5cd	17.5±4.8bcde	35.0±0.2ab	25.0±2.9d	27.5±8.5cd	42.5±6.6b	55.0±6.5bcd	50.0±8.2b	51.3±4.3cd	75.0±2.9abcd	67.5±4.8ab	70.0±4.6b	77.5±2.5ab	67.5±4.8ab	72.5±4.3ab
EFD-1	1	0.0±0.0c	0.0±0.0d	6.3±0.0b	15.0±2.9cd	12.5±4.8cde	11.3±0.8bc	30.0±4.1cd	35.0±6.5bcd	18.8±3.8c	45.0±6.5cd	57.5±4.8ab	36.3±4.3de	62.5±4.8cd	65.0±2.9ab	52.5±5.20c	80.0±4.1ab	65.0±2.9ab	66.3±5.9b
	2	0.0±0.0c	0.0±0.0d	0.0±0.0b	5.0±2.9cd	7.5±4.8de	3.8±1.0c	27.5±8.5cd	42.5±10.3abc	11.3±1.3c	60.0±7.1abcd	57.5±6.3ab	22.5±3.2ef	65.0±2.9bcd	60.0±4.1ab	33.8±1.3d	70.0±4.1ab	60.0±4.1ab	37.5±1.4c
	3	0.0±0.0c	0.0±0.0d	0.0±0.0b	0.0±0.0d	0.0±0.0e	6.3±0.5c	25.0±5.0d	17.5±4.8cd	7.5±1.4c	37.5±4.8de	47.5±6.3b	12.5±1.4fg	57.5±4.8cd	55.0±6.5b	21.3±2.4de	67.5±4.8bc	55.0±6.5b	31.3±3.8c
	5	0.0±0.0c	0.0±0.0d	0.0±0.0b	0.0±0.0d	0.0±0.0e	0.0±0.0c	0.0±0.0d	0.0±0.0d	0.0±0.0c	12.5±2.5e	17.5±4.8c	0.0±0.0g	30.0±4.1e	25.0±6.5c	8.8±3.2e	50.0±4.1c	25.0±6.5c	10.0±2.0d

** DAT, days after treatment.
 *** W, wheat (*Triticum aestivum* L.); B, barley (*Hordeum vulgare* var. *hexastichon* (L.) Asch.), and S, Spinach (*Spinacia oleracea* L.).

칠 수 있을 지를 판단하기 위해, 대상으로 선정한 밀, 보리는 2회 제설제 처리에 대해 생육에 별다른 영향을 받지 않았다 (Table 4). 다만, 백중밀과 서둔찰보리의 잎 선단부에서 약간의 변색이나 고사증상이 관찰되기는 하였으나, 작물의 생육에 영향을 미칠 정도는 아니었다. 또한 시금치는 처리한 제설제들에 의한 생육 저해를 전혀 받지 않았다 (Table 4). 이와 같이 보리나 밀의 잎 선단부가 제설제들 처리에 약간의 영향을 받은 것은 물에 녹인 제설제들의 입자가 대상 작물들의 잎에 부착되지 못하고 그대로 흘러내려 상대적으로 많은 양의 제설제 성분이 잎 선단부에 모이면서 선단부가 영향을 받았을 것으로 판단된다. 제설제에 대한 작물의 반응은 제설제의 농도와 작물의 종류에 따라 차이가 있다. 높은 염농도에 내성을 가진 염생식물에 비해 임의 염생 또는 비염생식물은 대개 염분에 견딜 수 있는 범위가 있으며, 이러한 범위에 벗어나게 되면 성장, 생체량 감소 등의 악영향을 받게 된다 (Taiz and Ceiger, 2002). 따라서 관능검사를 통한 외부적인 피해가 없 다할지라도 시간경과에 따른 성장저해를 예측할 수 있다.

토양 내 제설제의 작물에 미치는 영향

토양 내 혼입된 제설제에 지속적으로 노출된 백중밀 종자는 1% 저농도에서도 10일 동안 발아에 영향을 받았다 (Table 5). 발아영향수준은 노출 농도에 크게 의존적이었으며 상대적으로 EFD-1이 PC-10보다 발아에 더욱 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. PC-10 처리구는 시간이 지나면서 발아율이 회복되어 5% 고농도 처리구에서도 78% 발아율을 보여 무처리구 85%와 비슷한 양상을 보였다. 반면, EFD-1은 1%를 제외한 2% 이상의 농도에서 70% 이하의 발아율을 보여, 고농도로 토양에 침적된 제설성분에 의해서 영향을 받는 것으로 보였다. 서둔찰보리 종자 발아의 경우, PC-10 1%, 2% 그리고 3%의 농도에서 초기 15일간의 노출까지는 다소 영향을 받다가 노출시간이 지남에 따라 회복하여 무처리구와 비슷한 발아율을 보였다. 하지만, EFD-1은 1% 처리구에서도 30일 후 65%의 발아율을 보여 무처리구 83%에 비해 크게 영향을 받는 것으로 조사되었다 (Table 5). 2% 이상 고농도에서는 60% 이하로 급격히 발아율이 감소되는 경향을 나타냈다. 시금치 종자 발아율 역시 농도 의존적인 경향을 보였다.

PC-10은 백중밀이나 서둔찰보리 종자 발아와 비슷하게 3% 이하 처리 수준에서는 무처리구 87%와 비슷한 발아 특성을 보였고, 5% 처리구가 76%로 다소 영향을 받는 것으로 나타났다 (Table 5). EFD-1에 노출된 시금치 종자 역시 백중밀이나 서둔찰보리 종자들과 비슷한 양상의 발아 특성을 보였다. 하지만 2% 이상의 고농도에서는 38% 미만의 매우 감소된 발아율을 보여 백중밀이나 서둔찰보리보다 더 크게 영향을 받았다. 이상의 결과를 종합해 보면, PC-10과 EFD-1 제설제들이 유입되어 축적된 토양에 노출된 밀, 보리 그리고 시금치 종자는 PC-10 보다는 EFD-1에 상대적으로 더 강한 발아율 억제 경향을 보였다. 이것은 EFD-1에 존재하는 염화물에 의한 것으로 판단되며, 제설제의 주성분인 염화물에 의한 식물 종자 발아 억제에 대한 보고 (Shin et al., 2012)와 일치한다.

토양 내 혼입된 제설제들에 노출된 백중밀, 서둔찰보리 그리고 시금치 등은 노출 시간 및 노출 농도 모두에 의존적인 경향을 보였다. 1% 저농도 수준에 노출된 시험 작물들 모두 무처리구에 비해 체장이 유의하게 작았으나, 1% 수준에서는 다소 양호하게 관찰되었다. 백중밀의 경우 PC-10 처리구들 모두 15일까지 성장에 영향을 받는 것으로 나타났고, 시간이 지나도 무처리구에 비해 생장이 더딘 것으로 나타났다. EFD-1은 발아율 등의 영향과 같이 백중밀 생육에도 상대적으로 더 강하게 영향을 미쳤다 (Fig. 1A). 1% 농도에서도 노출 30일 후, 무처리구에 비해 약 10 cm 생장이 억제되었다.

서둔찰보리 역시 백중밀과 비슷하게 PC-10 및 EFD-1 제설제들의 토양 내 노출로 영향을 받는 것으로 나타났다. PC-10 1% 노출구가 30일 후 무처리 체장 24 cm 보다 조금 덜 자란 21 cm의 생육을 보였다 (Fig. 1B). 2% 이상의 노출구에서는 생육이 현저하게 억제되어 약 17 cm 가량의 생육을 보였고, 3%와 5% 노출구에서는 약 16 cm의 생육을 나타냈다. 반면 EFD-1 1, 2, 3, 5% 노출구는 30일 후 각각 15 cm, 13 cm, 12 cm, 10 cm 성장을 보여 PC-10 처리구보다 현저하게 생장이 억제된 경향을 보였다. PC-10 제설제의 토양 혼입에 따른 시금치 생장은 1% 노출구에서 무처리구와 별 다른 차이를 나타내지 않았고, 2% 노출구 역시 시간이 지나면서 무처리구와 비슷한 성장 특성을 보인 반면, 3% 이상 노

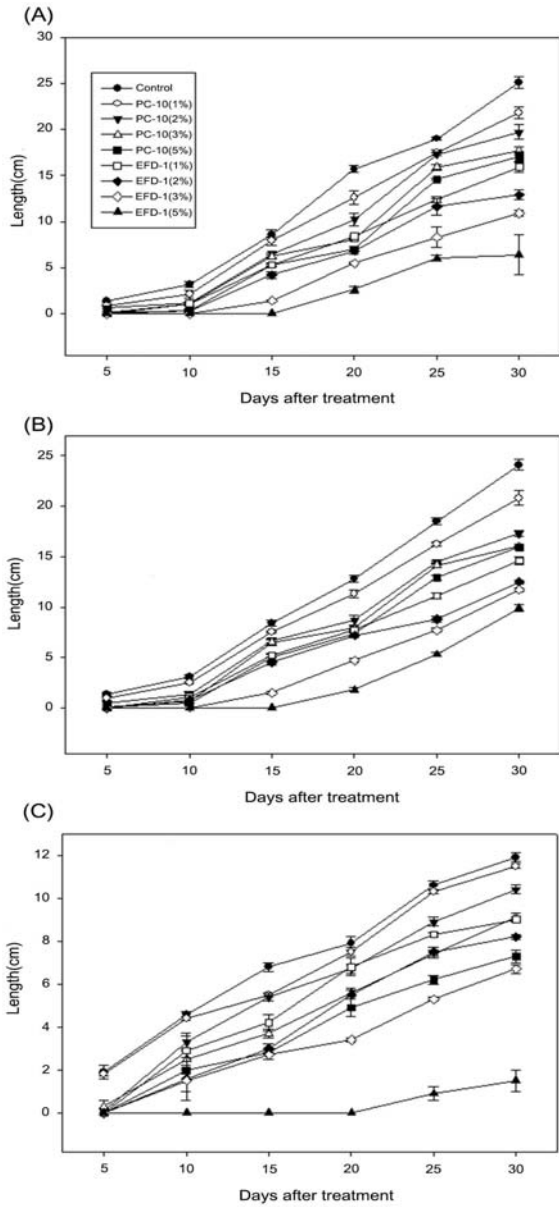


Fig. 1. Inside view of the kale greenhouse before (left) and after (right) supplementary radiation provided by three wave lamps, sodium lamps, and red LEDs.

출구에서는 약간의 성장 저해 현상이 관찰되었다(Fig. 1C). EFD-1의 토양 혼입에 노출된 시금치는 전체적으로 모든 처리 수준에서 무처리구 비해 성장 억제가 일어났다. 1%의 저농도에서 30일 후 9 cm의 체장을 보여 무처리구 12 cm에 비해 왜소하였고 2% 이상의 노출구에서는 8 cm 이하의 저해된 성장 특성을 보였다(Fig. 1C). 제설제가 작물 재배지 토양에 유입되어 축적되었을 경우를 가정하여 30일 간 토양 노출 시험 후, 노출시킨 백중밀, 서둔찰보리, 시금치의 지상부 및 뿌리 발육의 영향을 조사하였다 (Fig. 2). 그 결과, PC-10은 1% 이하의 저농도 처리에서 대조군과 큰 차이를 보이지 않았으나, 2% 이상의 농도 수준에서는 어느 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 뿌리 발육 양상은 지상부 성장 정도와

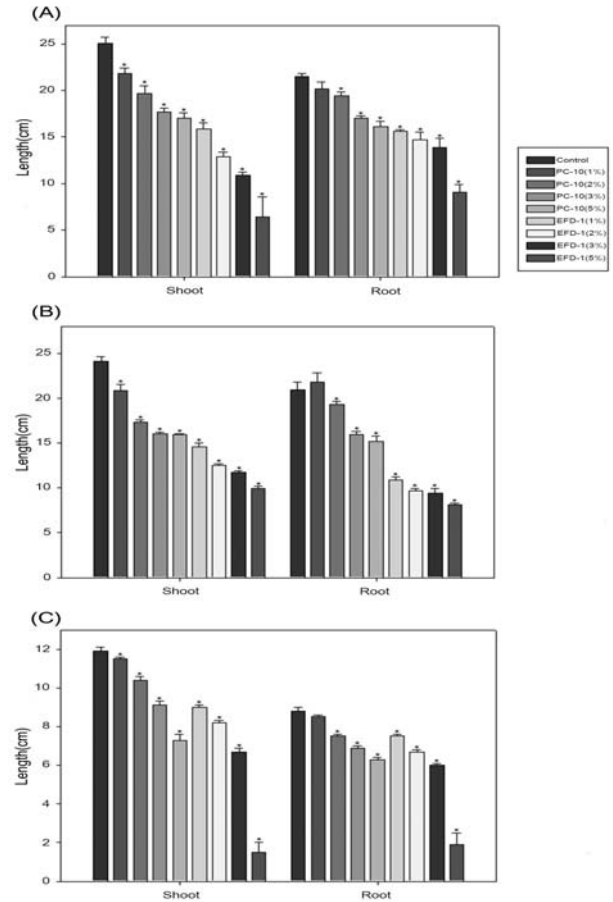


Fig. 2. The length of the shoot and root of wheat (A), barley (B), and spinach (C) exposed to deicers in soil at 30 days after treatment. The asterisk indicates statistically significant difference from the control (n=3).

상관성을 갖는 것으로 보였다. EFD-1 처리구들의 지상부 및 뿌리의 발육 정도는 PC-10 시험구들과 유사한 경향을 보였다. 하지만 시금치의 경우 5% 처리구에서 지상부 영향 보다는 뿌리 발육 영향이 상대적으로 훨씬 강하게 나타났다. 보리의 경우, 염에 대한 내성이 중간정도 수준이며(Greenway and Munns, 1980)로 알려져 있고, 밀의 경우, 어린시기에는 염농도에 매우 높은 감수성을 보이며(Mass and Poss, 1989), 시금치는 염성분이 높은 토양에 이식되면서 성장저해가 관찰된다(Wilson *et al.*, 2000)는 점에서 본 연구결과는 기존의 보고들과 유사하다.

토양에 축적된 제설제가 밀, 보리, 시금치 생체량에 미치는 영향을 처리 30일 후 건조 무게를 측정하여 상호 비교하였다. 제설제 토양 혼입으로 30일 동안 노출된 백중밀, 서둔찰보리, 시금치 등의 건조 생체량을 비교했을 때, 전체적으로 대조구에 비해 처리 농도 의존적으로 감소된 경향을 보였다. 특히 생체량 감소는 EFD-1 처리구들에서 현저하게 나타났다 (Fig. 3). 이는 아마도 구성성분의 중심인 초산이 토양에 유입 시 pH 변화와 전기전도도 등에 영향을 미쳤기 때문으로 추정된다. 이상의 결과는 작물생장시기에 따라 염류의 선택성이

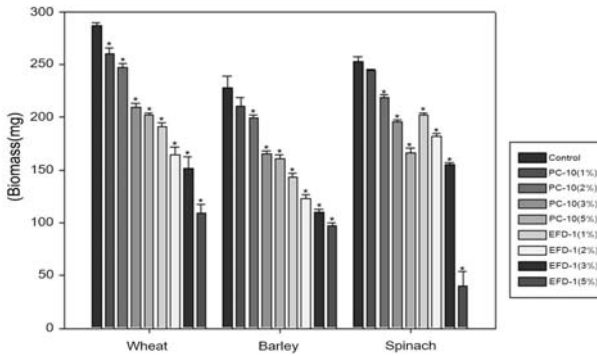


Fig. 3. Biomass of wheat (A), barley (B), and spinach (C) exposed to deicers in soil at 30 days after treatment. The asterisk statistically significant difference from the control (n=3).

달라지기 때문에, 작물에서 이온선택성은 염스트레스의 종류에 따라 달라질 수 있고, 이에 대한 작물의 생장에 영향 줄 수 있고(Wilson et al., 2000), 염분에 대한 내성 범위를 벗어나게 되면 생장, 생체량 감소 등이 관찰된다는 보고와 일치한다(Taiz and Ceiger, 2002).

이상의 결과를 요약하면, 제설제인 PC-10은 EFD-1에 비해서 상대적으로 작물의 발아와 생장 면에서 영향을 덜 주는 것을 확인하였다. 하지만 제설제의 토양잔류와 지속적 노출은 궁극적으로 작물의 발아 및 생장, 생체량 등에 영향을 주기 때문에, 제설제의 사용시에 작물의 특성을 고려한 적용방법이 개발되어야 할 것이다.

요 약

동절기에 폭설 등의 기상변화로 인해 제설제의 사용이 증가하고 있고, 교통사고의 예방과 인적 손실을 최소화하기 위해 이용된다. 제설제의 주성분으로는 염화칼슘과 염화나트륨이 있다. 최근에 수질오염, 농업생산성 감소 등의 염화물계 제설제의 부작용을 저감하기 위해 대체 제설제에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구는 밀, 보리, 시금치에 대해 PC-10과 EFD-1 제설제의 영향을 조사하였다. PC-10과 EFD-1 제설제를 사용하여 보리, 밀, 시금치의 성장과 발아, 생체량을 조사하였다. EFD-1은 조사작물에 대해 PC-10 보다 발아역제가 더 강하였다. 제설제 영향에 대한 관능조사에서 시금치는 다른 작물에 비해 크게 영향을 받지 않았다. 토양 내 제설제 잔류조건에서 EFD-1은 PC-10에 비해 발아역제효과가 높았다. 조사작물의 줄기 및 뿌리 생장은 EFD-1처리구보다 PC-10 처리구가 대조구와 비교하였을 때 상대적으로 양호하였다. 제설제의 처리구는 생체량 측정에서 조사작물 모두에서 대조구에 비해 낮았으며, 2% 이상의 처리농도에서 PC-10은 23-35%, EFD-1은 39-84%의 생체량 감소를 보였다. 이상의 결과들은 대체제설제인 PC-10이 EFD-1 비해 조사작물들의 발아, 생장, 생체량 감소에 영향을 덜 주는 것으로 판단된다.

Acknowledgment

This research was supported by Kyung Sung University Research Grants in 2012.

References

- Bryson, G. M., & Barker, A. V. (2002). Sodium accumulation in soils and plants along Massachusetts roadsides. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(1-2), 67-78.
- Chun, I. S., & Kim, S. W. (1995). Effects of calcium chloride on freezing and thawing of high early strength cement. *Journal of the Industrial Technology Institute*, 3, 141-154.
- Greenway, H., & Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual review of plant physiology*, 31(1), 149-190.
- Gibbs, J. N., & Burdekin, D. A. (1983). De-icing salt and crown damage to London plane. *Arboricultural Journal*, 7(3), 227-237.
- Kim, S. I., & Lee, D. W. (2014). Effect on chloride-deicers on growth of wheat, barley and spinach. *The Korean Journal of Environmental Agriculture*, 33(4), 350-357.
- Lee, J. J., Park, R. D., Kim, Y. W., Shim, J. H., Chae, D. H., Rim, Y. S., Sohn, B. K., Kim, T. W., & Kim, K. Y. (2004). Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. *Bioresource Technology*, 93(1), 21-28.
- Lee, S. W., Woo, C. W., Kim, J. O., & Park, H. M. (2005). Deicing performing of environment-friendly deicing agents. *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 7(3), 53-62.
- Maas, E. V., & Poss, J. A., (1989). Salt sensitivity of cowpea at various growth stages. *Irrigation Science*, 10(4), 313-320.
- Salcedo, R. N., & Jensen, W. N. (1987). Corrosivity Tests Pit Road Salt vs. CMA. *Public Works*, 118(Nov), 58-61.
- Shin, S. S., Park, S. D., Kim, H. S., & Lee, K. S. (2010). Effects of Calcium Chloride and Eco-Friendly Deicer on the Plant Growth. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 32(5), 487-498.
- Shin, S. S., Shin, E. J., Park, S. D., & Lee, K. S., (2012). Effect of deicers on germination of buried seeds in topsoil of old field. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(4), 538-546.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*, p. 690, 3rd ed. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA, USA.
- Viskari, E. L., & Karenlampi, L., (2000). Road Scots pine

as an indicator of deicing salt use—a comparative study from two consecutive winters. *Water, Air, & Soil Pollution*, 122(3-4), 405-409.

Wilson, C., Lesch, S. M., & Grieve, C. M. (2000). Growth stage modulates salinity tolerance of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides*, Pall.) and Red Orach (*Atriplex hortensis* L.). *Annals of Botany*, 85(4), 501-509.