

ORIGINAL ARTICLE

염화물계 제설제의 농도처리에 따른 벼과와 국화과의 종자 발아특성

양지 · 이재만 · 송희연 · 박선영 · 윤용한¹⁾ · 주진희^{1)*}

건국대학교 대학원 녹색기술융합학과, ¹⁾건국대학교 녹색기술융합학과

Effect of Chloride-containing Deicing Salts Concentration on the Germination Characteristics of Six Species of Asteraceae and Poaceae Seeds

Ji Yang, Jae-Man Lee, Hee-Yeon Song, Sun-Young Park, Yong-Han Yoon¹⁾, Jin-Hee Ju^{1)*}

Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Graduate School of Konkuk University, Chungju, 27478, Korea

¹⁾Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Konkuk University, Chungju, 27478, Korea

Abstract

This study aims to identify the most tolerant species under salinity stress from amongst Asteraceae and Poaceae. The seeds of six species were exposed to different concentrations of CaCl₂ (0, 9, 18, 45, 90 mM) and NaCl (0, 17, 34, 85, 170 mM), and germination was measured once every two days. The results indicated that percent germination of the six species of Asteraceae and Poaceae seeds were affected differently by changes in salinity concentration. Seed germination was reduced as salinity levels increase, and longer mean germination times correlated to lower percent germination and earlier germination cessation. Both Asteraceae and Poaceae seeds had the highest germination rates at 18 mM CaCl₂ and 34 mM NaCl, and seed germination and growth were severely reduced at salinities greater than 90 mM CaCl₂ and 170 mM NaCl. In the seeds of Poaceae, salt resistance was strong in the order of *Miscanthus sinensis* Andersson, *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng., and *Phragmites communis* Trin. In the seeds of Asteraceae, salt resistance was strong in the order of *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* (Maxim.) Kitam, *Aster yomena* (Kitam.) Honda, and *Dendranthema boreale* (Makino) Ling ex Kitam.. Overall, the germination rate was higher in Asteraceae than in Poaceae. This study demonstrated that *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* (Maxim.) Kitam. is the most tolerant species and that a relationship exists between the salt tolerance of percent germination and the mean germination time in the leaves.

Key words : Salinity stress, Salinity tolerance, Salt-affected soil, Seed germination, Sodium and chloride salt

Received 21 February, 2019; Revised 4 November, 2019;

Accepted 14 November, 2019

*Corresponding author: Jin Hee Ju, Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Konkuk University, Chungju 27478, Korea
Phone : +82-43-840-3541
E-mail : jjhkkc@kku.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© 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.

1. 서론

가로변 식물은 겨울철 적설 시 살포하는 염화물계 화합물(NaCl, CaCl₂, KCl, MgCl₂)로 이루어진 제설제에 노출됨에 따라 상당한 염해가 우려되고 있다(Choi et al., 2013). 토양에 축적된 고농도의 염분은 토양의 수분포텐셜을 감소시켜 식물에 수분과 영양소 흡수를 제한하며 이온의 불균형과 독성 피해를 야기한다. 또한 생육 단계에 따라 염도 기작이 변동하며(Houle et al., 2001), 염에 대한 치사농도, 생장 감소율과 내성 레벨은 식물 종간에 차이가 있는 것으로 보고되었다(Shim et al., 2012). 특히 종자의 발아단계에서 염분 스트레스는 종자의 발아를 막거나 지연시키는 것으로 알려져 있다(Ibrahim, 2016).

염해지에서는 내염성 식물의 선발은 식재의 성패를 가늠할 정도로 매우 중요하기 때문에 염분 피해로부터 적응 가능한 내염성 식물 선발에 관한 자료가 필요하다(Kim, 2010). 이에 식물의 염분 내성은 오랫동안 연구 대상이 되어왔는데(He et al., 2017), 식물 종별로 특정 염 농도 범위 내에서 생장이 양호한 반응을 나타내고 염 스트레스 상태에서 다양한 형태적 생리적 반응을 보여(Jeong et al., 2017), 내염성 식물들은 염해지 환경개선에 좋은 식물자원으로 활용될 수 있다(Lee et al., 2007). 따라서 염 스트레스에 대한 영향을 더 잘 이해하고 이에 적합한 수종을 적용할 필요가 있다(Equiza et al., 2017).

그럼에도 불구하고, 염분 농도에 따른 종자 발아 환경에 대한 연구는 주로 임해매립지나 자연 군락지에 서식하는 염생식물을 대상으로 이루어져 왔을 뿐 아니라 내염성 선발에 관한 자료는 대부분 외국수종이거나 일부 해안지역을 대상으로 연구되어 왔다(Kim, 2010). 따라서 도심 가로녹지로 활용가치가 높으며 경관식물로 이용되는 다년생 초본류의 염 스트레스에 대한 연구는 부족한 상황이다. 이에 본 연구는 대표적인 염화물계 제설제 주요 성분인 염화칼슘과 염화나트륨 두 가지의 염 농도에 따라 벼과식물인 억새(*Miscanthus sinensis* Andersson), 수크령(*Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng.), 갈대(*Phragmites communis* Trin.) 등과 국화과식물인 구절초(*Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* (Maxim.) Kitam.), 쑥부쟁이(*Aster yomena* (Kitam.) Honda), 산국(*Dendranthema boreale* (Makino)

Ling ex Kitam.)등을 대상으로 종자발아 특성을 조사하여 제설제 피해지 토양의 녹화용 자생식물 선발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 종자

본 연구에 사용된 자생 초화류 종자는 2017년 국립 백두대간수목원 채종 임분에서 채취한 벼과식물인 억새, 수크령, 갈대 등 3종과 국화과식물인 구절초, 쑥부쟁이, 산국 등 3종으로 총 6종을 사용하였다.

벼과식물은 전처리 없이 종자가 휴면을 하지 않고, 발아율이 우수하며 척박지에서도 잘 적응하는 것으로 밝혀졌다(Cho and Lee, 2014). 이 중 억새는 동아시아에 자생하는 다년생 초본이며 교란된 서식지에 높은 바이오매스를 생산하는 작물로 각광받고 있다. 또한 해안을 따라 분포하며 염분이 높은 바닷가에서 자라며 다양한 환경적 스트레스에 대해 매우 강하며 최근 다양한 서식처에 적응할 수 있는 능력을 주목받았다(Hung et al., 2009). 수크령은 국내 자생 초본식물로 종자가 휴면을 하지 않으며 발아율이 양호하다. 또한 도로 건설 등으로 인한 인공 비탈면과 각종 훼손 비탈면 녹화에 많이 사용되는 식물이다(Dang et al., 2017). 갈대는 우리나라 해안 염습지에 자생하는 대표적인 다년생 내염성 식물로 염류성 토양에서 발생하는 특성을 가지고 있다(Kwon et al., 2016).

국화과 식물은 관상가치가 우수하여 경관식물로 유망하며 대표적인 내염성 식물로 보고된바 있다(Ju et al., 2016). 구절초는 아름다운 꽃의 형태로 우수한 형질을 가지고 있으며 도시경관 향상을 위한 조경용 자생초화류로서 토양유실을 경감시켜 활용가치가 높다. 쑥부쟁이, 산국은 해양 강어귀 및 염습지와 같은 염분 조건에서 생존하며 염 성분에 대한 내성 기작을 가지고 있다(Shim et al., 2012). 공시 종자의 규격은 Table 1과 같다.

2.1.2. 제설제

염화칼슘(CaCl₂)과 염화나트륨(NaCl)은 높은 가용성과 저렴한 비용으로 가장 보편적으로 사용되는 제설제이며(Equiza et al., 2017), 주성분은 염화물계 염으로 1960년대부터 광범위하게 사용되어 왔다. 이 중 염화칼슘은

Table 1. Characteristics of experimental seeds

Family	Species	Length (mm)	Width (mm)	Weight of 1000 seeds (g)	Seed-gathering Time
Asteraceae	<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson	2.5	1.1	4.8	2017. 10. 20
	<i>Pennisetum alopecuroides</i> (L.) Spreng.	1.8	0.7	1.8	2017. 11. 05
	<i>Phragmites communis</i> Trin.	2.7	1.0	2.3	2017. 11. 05
Poaceae	<i>Dendranthema zawadskii</i> var. <i>latilobum</i> (Maxim.) Kitam.	2.0	1.0	3.3	2017. 10. 20
	<i>Aster yomena</i> (Kitam.) Honda	3.0	1.5	2.7	2017. 10. 20
	<i>Dendranthema boreale</i> (Makino) Ling ex Kitam.	2.0	0.7	2.1	2017. 10. 20

수분을 끌어당기는 효과가 클 뿐 아니라, 도로에 오래 머무르고 제거하기 어렵기 때문에 이에 대한 우려가 더욱 커지고 있는 실정이다(Fay and Shi, 2012). 염화나트륨은 방염 및 제빙에 가장 널리 사용되는 물질이며, 저온에서 가장 효과적이나(Equiza et al., 2017), 식물 성장을 억제하는 염분함량이 높은 특징을 가지고 있다(Xie et al., 2016). 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 대표적인 제설제 종류인 염화칼슘(순도 74%, Oriental chemical Industries, Korea)과 염화나트륨(순도 99.5%, Sigma Co., USA)를 농도 비율로 혼합하여 6가지 공시식물의 종자발아 특성을 중심으로 내염성을 조사하였다.

2.2. 연구방법

2.2.1. 발아조건

발아실험 전 종자는 건조 후 정선하여 4°C 저온처리를 72시간 실시하였으며, 표면 소독을 위해 치아 염소산나트륨 1% 용액에 3시간 침지한 후 3차 증류수로 깨끗이 세척하였다. 종자의 발아과정을 살펴보기 위하여, 직경 90 mm의 petri-dish에 여과지(Whatman, filter paper No. 2, 100 mm)를 2겹을 깔고 각 종자 50립씩 3반복 치상하였으며, 완전임의배치(CRD, Completely Randomized Design) 하였다(Kim and Lee, 2014). 염에 민감한 수종의 염화물 함량의 역치는 염 농도가 0.3~0.5% 라는 이전 연구를 참고하여(Shin et al., 2010) CaCl₂ 처리 0(Control), 9, 18, 45, 90 mM (Cont., C9, C18, C45, C90)로 총 5가지 농도로 염수를 조제하였다. NaCl의 농도는 염생식물 나문재의 염 농도에 따른 발아율을

보고한 연구에서 NaCl 50~100 mM에서 종자발아 특성이 양호하고, 그 이상 또는 그 이하의 염농도에서 생육이 감소 하였다는 기준값을 참고하여(Kwon et al., 2016) 0(Control), 17, 34, 85, 170 mM(Cont., N17, N34, N85, N170)로 총 5가지 농도로 염수를 조제하였다. 수용액은 농도별로 4 mL씩 분주한 후 2일에 한번 씩 관주하였고, 처리된 종자는 23±1°C로 설정된 생장상(Growth chamber, JSGC- 420C, JS Research inc., Korea)으로 옮겨 배양하였다.

2.2.2. 발아특성 조사

발아수는 30일 동안 2일 간격으로 조사하였으며, 종피에서 유근이 2 mm 이상 출현하였을 때를 발아로 간주하였다. 발아조사 발아율(Percent Germination, PG), 발아세(Germination Energy, GE), 평균발아일수(Mean Germination Time, MGT)로 산출하였다(Ren and Tao, 2004). 조사는 3반복으로 실시하였으며 공식은 다음을 기초로 하였다(Choi et al., 2006). ti는 치상 후 조사 일수, ni는 조사 당일의 발아수, N은 총 발아수이다(Scott et al., 1984). 수집된 데이터는 SigmaPlot 12.3(Systat software, Inc., San Jose, CA, USA)을 통해 그래프화 하였다.

- 1) 발아율(percent germination, PG) : $(N/S) \times 100$
- 2) 발아세(germination energy, GE) : 치상 후 가장 많이 발아한 날까지의 발아율(%)
- 3) 평균발아일수(mean germination time, MGT) : $MGT = \sum(ni/ti)$

3. 결과 및 고찰

3.1. 발아율, 발아세

3.1.1. 벼과

억새, 수크령, 갈대의 제설제 농도에 따른 발아율, 발아세는 Fig. 1과 같다. 억새 염화칼슘 처리에서는 모든 염 농도에서 발아하였으며, C9 처리구에서 15.83%로 가장 높은 결과를 나타냈다. 대조구(13.33%)를 제외한 나머지 처리구에서는 염화칼슘 농도가 높아질수록 발아율이 낮아지는 경향을 보였다. 참억새는 지하부의 생산력이 높은 수종으로, 토경재배에서의 생육 실험 결과 지상부 보다 지하부에서 생장이 활발하였고 뿌리의 수분흡수력을 확장시켜 한계 농도 이하의 염류토양에 생육이 가능한 것으로 보고 되었으나(Ju et al., 2019), 배지를 이용한 플라스크 발아실험에서는 토경재배와 생육환경이 달라 발아가 억제된 것으로 해석된다. 수크령은 C9 처리구에서 2.5%로 가장 높은 결과를 나타내었으며, 대조구와 C18 처리구에서 0.83%로 동일한 발아율을 보였고, 나머지 처리구에서는 발아하지 않았다. 이는 억새 종자가 C9 처리에서 가장 높은 것과 유사한 결과였다. 갈대는 C18 처리구에서 치상 후 18일이 지난 뒤 1.67%의 발아율을 보였으나, 그 외 나머지 처리구에서는 모두 발아하지 않았다.

염화나트륨 처리구에서 억새는 N17에서 15%, 대

조구에서 13.33%, N34, N85, N170에서 각각 8.5%, 5.5%, 2.5% 순으로 감소하였다. 이는 사초과 식물 중 홍노줄사초, 애기부들 등의 지하부 생육이 NaCl 100 mM의 농도에서 저하되어 지상보다 뿌리가 민감하게 반응하였다는 결과와 유사하였다(Shim et al., 2012). 수크령의 경우 N34에서 1.67%, N85에서 0.83% 발아하였으나, 나머지 처리구에서는 발아하지 않았다. 갈대에서는 N17 처리에서 1.67%, 대조구에서 0.83% 인 것으로 확인되었으나 나머지 처리구에서는 발아하지 않았다.

염화칼슘과 염화나트륨 처리 모두 5가지 농도처리에서 고농도로 갈수록 발아율이 감소되는 경향을 보였다. 특히, C9에서 점차 낮아지는 것으로 보아 벼과종자 중 억새의 발아에 있어서 염화칼슘 9 mM 이상의 고농도는 적합하지 않음을 알 수 있었다. 염화나트륨 처리구에서는 NaCl의 농도는 발아율과 부(-)의 경향을 나타낸다는 연구와 유사하게(Choi et al., 2006) N17 처리구를 기준으로 발아율이 서서히 감소하였으며 N17에서 발아율이 가장 우수한 것으로 보아 NaCl 17 mM의 소량의 염분은 오히려 발아에 긍정적 영향을 준다고 판단되는데 이는 식물체에서 Na^+ 또는 Cl^- 이온은 미량 필수원소로서 생육에 필수적이나 필요 이상의 양은 식물에 축적되어 독성을 유발하는 것으로 해석된다(Son et al., 2016).

발아세는 종자를 치상한 후 가장 많이 발아한 날까지의 종자 수를 총 종자수에 대한 비율로 산출하였는데

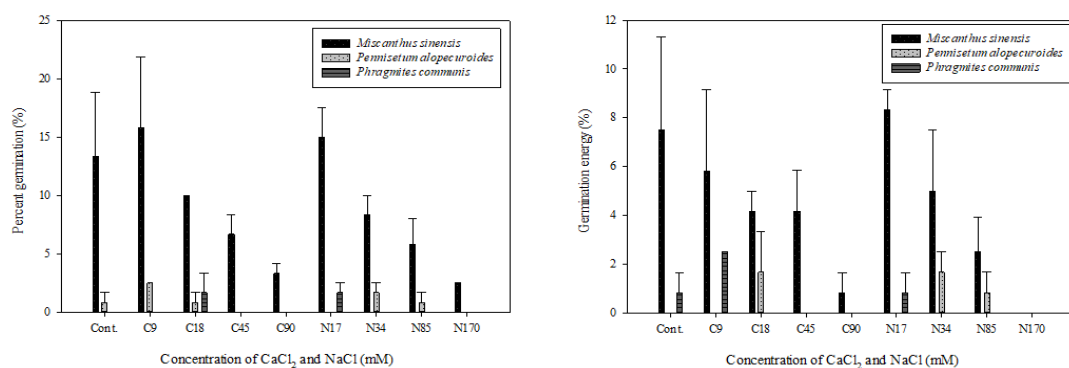


Fig. 1. Percent germination and germination energy of *Miscanthus sinensis* var. *purpurascens* (Andersson) Rendle, *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng, and *Phragmites communis* Trin. seeds as affected by chloride-containing deicing salts (CaCl_2 , NaCl) concentration. Error bars represent the standard deviation. Cont.; Control, C9; CaCl_2 9 mM, C18; CaCl_2 18 mM, C45; CaCl_2 45 mM, C90; CaCl_2 90 mM, N17; NaCl 17 mM, N34; NaCl 34 mM, N85; NaCl 85 mM, N170; NaCl 170 mM.

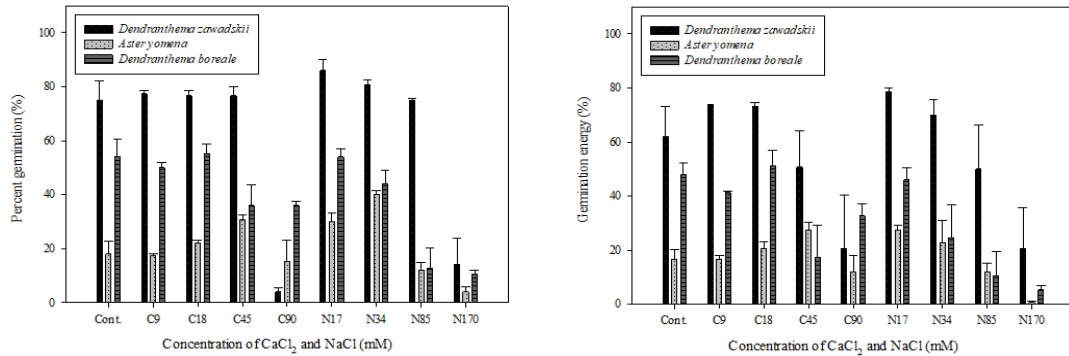


Fig. 2. Percent germination and germination energy of *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* (Maxim.) Kitam, *Aster yomena* (Kitam.) Honda, and *Dendranthema boreale* (Makino) Ling ex Kitam. seeds as affected by chloride-containing deicing salts (CaCl₂, NaCl) concentration. Error bars represent the standard deviation. Cont.; Control, C9; CaCl₂ 9 mM, C18; CaCl₂ 18 mM, C45; CaCl₂ 45 mM, C90; CaCl₂ 90 mM, N17; NaCl 17 mM, N34; NaCl 34 mM, N85; NaCl 85 mM, N170; NaCl 170 mM.

벼과는 치상 후 15일 후 가장 높은 발아수를 보였으며, 염화칼슘 처리구에서 역새는 대조구, C9, C18, C45, C90 순으로 7.5%, 5.8%, 4.17%, 4.17% 발아세를 보인 반면, 수크령과 갈대에서는 저조한 발아율로 뚜렷한 발아세 검정이 어려웠다. 염화나트륨 처리구에서 역새는 N17, 대조구, N34, N85 순으로 8.3%, 7.5%, 5%, 2.5% 발아세를 보였으나 수크령, 갈대에서는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 이에 염화물계 제설제 농도에 따른 세 가지 벼과식물의 종자발아 특성을 비교한 결과 모든 처리구에서 역새의 발아율이 수크령과 갈대보다 높아, 역새가 염에 대한 내성이 가장 큰 것으로 보인다.

3.1.2. 국화과

염화물계 제설제 농도 처리에 따른 구절초, 쑥부쟁이, 산국의 발아특성 실험 결과는 Fig. 2.와 같다.

염화칼슘(CaCl₂) 처리에서 구절초는 C9, C18, C45에서 76~77.33%의 비교적 높은 발아율을 보였고 대조구, C90에서 각각 75%, 47%로 낮게 분석되었다. 쑥부쟁이는 C45에서 30.67%로 가장 높은 값을 보였으며, C18, 대조구, C9, C90에서 각각 22%, 18%, 17.33%, 15.33% 순으로 확인되었다. 산국은 C18, 대조구, C9 순으로 50~55.33%의 비교적 균일한 발아율을 보였으며, C45, C90에서는 36%로 동일하였다.

염화나트륨 처리에서 구절초의 발아율은 N17, N34

에서 각각 86%, 80.67%의 높은 염내성을 보였으며, N85, 대조구, N170 순으로 급격히 저하되는 경향을 보였다. 이는 식물종에 따라 일정 농도의 염화칼슘과 EFDs (Eco-Friendly Deicers) 처리는 오히려 묘목의 발아와 초기 성장을 증진 시킨다는 기존 연구에 부합하는 결과였다(Shin et al., 2012). 쑥부쟁이에서는 N17, N34에서 31~30%의 발아율을 보였으며, 대조구, N85, N170 순으로 각각 18%, 12%, 4.67%로 비교적 낮은 발아율이 조사되었다. 산국에서는 N17에서 54%로 가장 높은 결과를 나타내었으며, 이는 대조구에서도 동일한 값을 보였다. N34에서 44%, N85, N170에서 12.67%, 10.67% 발아율이 나타났다. 쑥부쟁이는 다른 종자에 비하여 전체적인 발아율은 낮았지만 N85의 염화칼슘 처리구에서 30.67%의 발아를 이루는 것을 확인할 수 있었다. 특히 구절초의 염화칼슘 C45 처리와 염화나트륨 N85 처리에서 모두 현저하게 감소된 것을 볼 수 있었다. 이는 5%의 염화칼슘, 염화나트륨 수용액에서 밀, 보리, 시금치의 경우 발아에 영향을 받는 것과 비교하였을 때, 0.5%의 염화칼슘과 염화나트륨을 각각 mM로 환산한 값인 45 mM, 85 mM의 수준에서 발아에 부정적인 영향을 받은 것과 유사하였다(Kim and Lee, 2014). 구절초는 수크령, 쑥부쟁이보다 전체적으로 발아율이 높게 나타나 국화과에서는 구절초가 염에 대한 내성이 강한 종으로

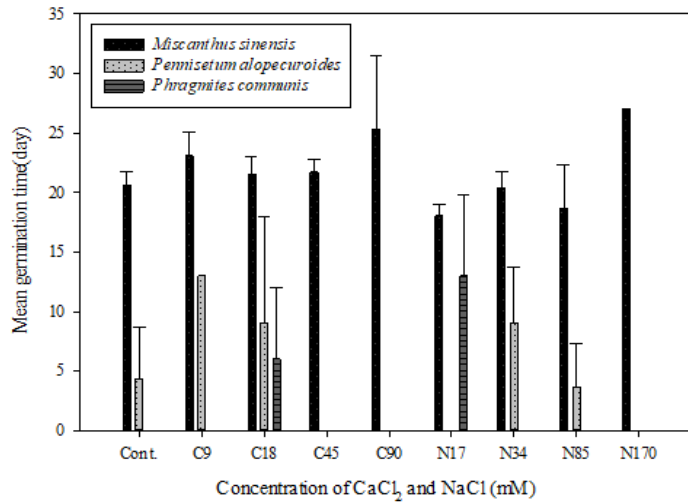


Fig. 3. Mean germination time of *Miscanthus sinensis* var. *purpurascens* (Andersson) Rendle, *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng, and *Phragmites communis* Trin. seeds as affected by chloride-containing deicing salts (CaCl₂ and NaCl) concentration. Error bars represent the standard deviation. Cont.:Control, C9; CaCl₂ 9 mM, C18; CaCl₂ 18 mM, C45; CaCl₂ 45 mM, C90; CaCl₂ 90 mM, N17; NaCl 17 mM, N34; NaCl 34 mM, N85; NaCl 85 mM, N170; NaCl 170 mM.

판단되나 염화칼슘(45 mM), 염화나트륨(85 mM) 이상의 농도에서는 종자발아가 어려울 것으로 예측된다.

국화과 식물은 치상 후 6일 이후 가장 높은 발아수를 보였는데, 염화칼슘처리 구절초가 C9, C18, 대조구, C45, C90순으로 74%, 73.3%, 62%, 50.6%, 20.67%의 발아세로 산국 C18, 대조구, C9, C90, C45순으로 51%, 48%, 41%, 32.6%, 17.33%의 발아세보다 높은 결과를 보였다. 쑥부쟁이는 C45에서 27.3%였으나 나머지 처리구에서는 12~20%로 저조한 경향을 보였다(Fig. 2.). 염화나트륨 처리에서 억새는 N17, N34, 대조구, N85, N170 순으로 78.6%, 70%, 62%, 50%, 20.67%의 발아세를 보였다. 대조구를 제외하고 N17 처리구를 정점으로 염화나트륨의 농도가 높아질수록 발아세가 낮아지는 경향을 보였다. 이는 수크령과 갈대에서도 억새와 같은 결과를 보여주고 있어 염화나트륨 N17 농도에서 비교적 높은 발아세를 나타냈다.

3.2. 평균발아일수

3.2.1.벼과

평균발아일수는 제설제의 농도 처리에 따라 차이를

나타내었다. 억새의 경우 치상 후 9일 만에 발아가 확인되었으며, 30일 동안 발아가 지속되었다. 염화칼슘과 염화나트륨의 농도가 높아짐에 따라 발아일수가 증가하는 추세를 보였으나, 수크령과 갈대에서는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다(Fig. 3). 억새는 C90, N170 등의 고농도 처리구에서 대조구보다 평균발아일수가 증가하는 경향을 보이는데, 이는 종자의 지연 발아 후 지속되지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 평균발아일수는 종자 발아의 지연을 의미하는데 염화칼슘과 염화나트륨 농도가 증가하면서 염류 스트레스로 인해 수분흡수 장애와 Na⁺, Cl⁻ 등의 이온 축적에 의한 영양 불균형 등으로 생장이 억제된 것으로(Choi et al., 2006) 해석된다.

3.2.2.국화과

국화과의 평균발아일수는 제설제의 농도 처리별로 차이를 보였다. 구절초의 경우 치상 후 14일 동안 발아가 지속되었으며, 염화칼슘(CaCl₂) 농도가 높아질수록 평균발아일수가 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4). 특히 C90에서는 대조구에 비해 3.18일의 차이를 보이며 발아일수가 급격히 감소하는 경향을 보였다. 쑥부쟁이는 20일 만에 발아가 종료되었으며 구절초와 같이 대조구에

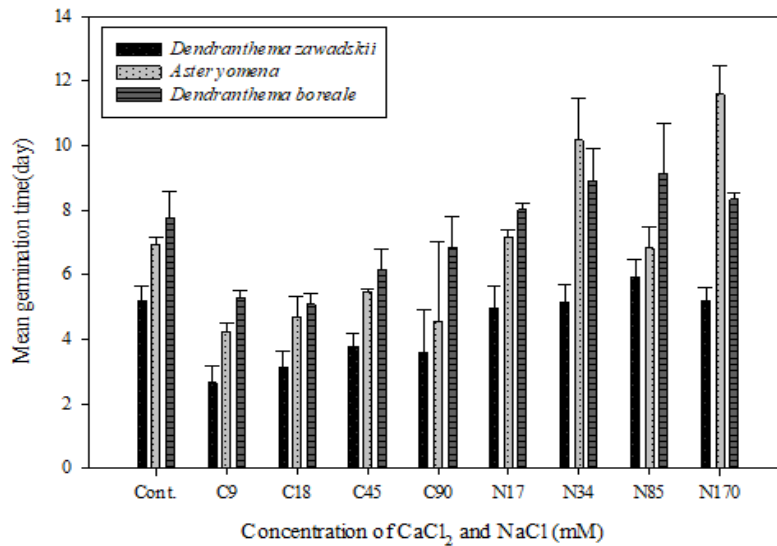


Fig. 4. Mean germination time of *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* (Maxim.) Kitam, *Aster yomena* (Kitam.) Honda, and *Dendranthema boreale* (Makino) Ling ex Kitam. seeds as affected by chloride-containing deicing salts (CaCl₂ and NaCl) concentration. Error bars represent the standard deviation. Cont.; Control, C9; CaCl₂ 9 mM, C18; CaCl₂ 18 mM, C45; CaCl₂ 45 mM, C90; CaCl₂ 90 mM, N17; NaCl 17 mM, N34; NaCl 34 mM, N85; NaCl 85 mM, N170; NaCl 170 mM.

비해 C90 처리구에서 2.48일 발아일수가 늦어져 치상 후 8.83일 만에 첫 발아를 시작하였다. 산국은 치상 후 4일 만에 처음 발아하였으며, 치상 후 16일 만에 종료하였다. 구절초, 쑥부쟁이와 유사하게 염화칼슘 농도가 높아질수록 평균발아일수가 증가하는 결과를 보였다(Fig. 4.). 반면 염화나트륨 처리에서는 쑥부쟁이는 N170 처리구에서 11.58일로 평균발아일수가 가장 높았으며, N34, N17, N85, 대조구 순으로 6.85~7.15일의 비교적 비슷한 발아일수를 보였다. 이와 같은 결과는 농도가 높을수록 발아가 조기 종료하여 평균발아일수를 단축시킨 것으로 보인다(Choi et al., 2006).

4. 결론

본 연구는 제설제 중 가장 보편적으로 이용되는 염화칼슘(CaCl₂)과 염화나트륨(NaCl)의 농도처리에 따른 벼과식물인 억새, 수크령, 갈대 3종과 국화과식물인 구절초, 쑥부쟁이, 산국 3종의 종자 발아특성을 살펴봄으로써, 제설제 피해지 토양의 녹화용 자생식물 선발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

벼과식물 중 억새는 전반적으로 모든 처리구에서 수크령과 갈대에 비해 높은 발아율을 보여 염에 대한 내성이 우수한 종자인 것으로 사료된다. 특히, 염화칼슘 90 mM, 염화나트륨 170 mM 처리농도에서도 발아가 확인되었으나 그 이상 농도에서는 생장이 억제되었다. 수크령은 중간 정도의 염분 저항성을 보였으며 염화칼슘 45 mM, 염화나트륨 85 mM 이상의 농도처리구에서는 발아하지 않았다. 갈대는 염에 대해 가장 민감한 감수성을 보였으며, 염화칼슘 9 mM, 염화나트륨 34 mM 이상 농도처리에서는 발아가 억제되는 것으로 확인되었다. 국화과 식물 3종의 발아 특성은 구절초, 쑥부쟁이, 산국 순으로 발아율이 높았으나 공통적으로 염화칼슘 45 mM, 염화나트륨 85 mM 농도수준에서 발아가 감소하였다. 특히, 구절초는 쑥부쟁이와 산국에 비해 월등히 높은 발아율을 보여 내염성이 강한 것으로 평가되었다.

평균발아일수는 벼과와 국화과 모두 농도가 높아질수록 발아가 지연되었다. 결과적으로 벼과식물에서는 억새가, 국화과 식물에서는 구절초의 종자가 내염성이 강해 제설제 피해지에 종자파종으로 활용가능성이

높을 것으로 보인다. 본 연구는 자연조건이 아닌 생장상(Growth chamber)를 이용한 인공환경 조건하에서 이루어졌으므로 추가적인 염 내성 조건 규명이 필요하며, 추후 현장 적용 후 지속적인 모니터링도 필요할 것이라 생각된다.

감사의 글

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2018R1A1A3A04079467)

REFERENCES

- Cho, Y. H., Lee, K. H., 2014, Germination and early growth characteristics of *Pennisetum alopecuroides*, *Phragmites communis*, and *Miscanthus sinensis* according to the seeding methods, *J. Korean Env. Res. Tech.*, 17(1), 163-172.
- Choi, C. H., Tak, W. S., Kim, T. S., 2006, Effect of temperature and sodium chloride on seed germination of *Thuja orientalis*, *Korean J. Plant Res.*, 19(1), 97-104.
- Choi, S. M., Shin, H. C., Kim, I. H., Huh, K. Y., Kim, D. I., 2013, Salt tolerance assessment with NaCl of *Stauntonia hexaphylla* (Thunb.) Decene. and *Raphiolepis indica* var. *umbellata* (Thunb.) Ohashi, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 31(5), 617-625.
- Dang, J. H., Cho, Y. H., Lee, C. S., 2017, Effect of soil reinforcement on shear strength by *Pennisetum alopecuroides* and *Miscanthus sinensis* roots on loamy sand at river banks, *J. Korean Env. Res. Tech.*, 20(2), 81-93.
- Equiza, M. A., Calvo-Polanco, M., Cirelli, D., Señorans, J., Wartenbe, M., Saunders, C., Zwiazek, J. J., 2017, Long-term impact of road salt (NaCl) on soil and urban trees in Edmonton, Canada, *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 16-28.
- Fay, L., Shi, X., 2012, Environmental impacts of chemicals for snow and ice control: state of the knowledge, *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(5), 2751-2770.
- He, Q., Silliman, B. R., Cui, B., 2017, Incorporating thresholds into understanding salinity tolerance: A Study using salt-tolerant plants in salt marshes, *Ecology and Evolution*, 7(16), 6326-6333.
- Houle, G., Morel, L., Reynolds, C. E., Siégel, J., 2001, The effect of salinity on different developmental stages of an endemic annual plant, *Aster laurentianus* (Asteraceae), *American Journal of Botany*, 88(1), 62-67.
- Hung, K. H., Chiang, T. Y., Chiu, C. T., Hsu, T. W., Ho, C. W., 2009, Isolation and characterization of microsatellite loci from a potential biofuel plant *Miscanthus sinensis* (Poaceae), *Conservation Genetics*, 10, 1377-1380.
- Ibrahim, E. A., 2016, Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds, *Journal of Plant Physiology*, 192, 38-46.
- Jeong, J. H., Hwang, W. H., An, S. H., Jeong, H. Y., Lee, H. S., Baek, J. S., Choi, K. J., Lee, G. H., Ra, J. E., Chung, N. J., Lee, S. J., Yun, S. J., 2017, Seed germination, plant growth and antioxidant capacity of *Limonium tetragonum* under different salt concentrations, *Korean J. Plant Res.*, 30(4), 364-371.
- Ju, J. H., Hui, X., Park, J. Y., Choi, E. Y., Yoon, Y. H., 2016, Evaluation of salt tolerance of *liriope platyphylla* and *Pachysandra terminalis* to deicing Salt(CaCl₂) concentration in winter, *Korean J. Environ. Ecol.*, 30(4), 651-657.
- Ju, J. H., Yang, J., Park, S. Y., Yoon, Y. H., 2019, Assessing effects of calcium chloride (CaCl₂) deicing salt on salt tolerance of *Miscanthus sinensis* and leachate characterizations., *J. KILA.*, 47(4), 61-67.
- Kim, D. G., 2010, Native tree species of tolerance to saline soil and salt spray drift at the coastal forests in the west-sea, Korea, *Kor. J. Env. Eco.*, 24(2), 209-221.
- Kim, S. I., Lee, D. W., 2014, Effect of chloride-deicers on growth of wheat, barley and spinach, *Korean J. Environ. Agric.*, 33(4), 350-357.
- Kwon, H. G., Jeong, J. H., Lee, S. J., Chung, N. J., 2016, Germination and early growth characteristics of the halophyte *Suaeda asparagoides* under various environmental conditions, *Korean J. Crop Sci.*, 61(3), 222-226.
- Lee, K. B., Kang, J. G., Lee, D. B., Park, C. W., Kim, J. D., 2007, Evaluation of salt-tolerance plant for improving saline soil of reclaimed land, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 40(3), 173-180.
- Ren, J., Tao, L., 2004, Effects of different pre-sowing seed

- treatments on germination of 10 Calligonum species, *Forest Ecology and Management*, 195(2004), 291-300.
- Scott, S. J., Jones, R. A., Williams, W., 1984, Review of data analysis methods for seed germination, *Crop Science*, 24(6), 1192-1199.
- Shim, M. S., Kim, Y. J., Lee, C. H., Shin, C. H., 2012, Salt tolerance of various native plants under salt stress, *Journal of Bio-Environment Control*, 21(4), 478-484.
- 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, *Journal of Civil Engineering*, 16(4), 538-546.
- Son, J. K., Song, J. D., Shin, W. T., Lee, S. H., Ryu, J. H., Cho, J. Y., 2016, Properties and Desalination of Salt-affected Soil, *Korean J. Org. Agric.*, 24(2), 273-287.
- Xie, J., Dai, Y., Mu, H., De, Y., Chen, H., Wu, Z., Ren, W., 2016, Physiological and biochemical responses to NaCl salinity stress in three *Roegneria* (Poaceae) species, *Pak. J. Bot.*, 48(6), 2215-2222.
-
- 양지, 건국대학교 대학원 녹색기술융합학과 박사과정
jasmin85@kku.ac.kr
 - 이재만, 건국대학교 대학원 녹색기술융합학과 석사과정
offense90@naver.com
 - 송희연, 건국대학교 대학원 녹색기술융합학과 석사과정
heeyeon9003@daum.net
 - 박선영, 건국대학교 대학원 녹색기술융합학과 박사과정
wripark@naver.com
 - 윤용환, 건국대학교 녹색기술융합학과 교수
yonghan7204@kku.ac.kr
 - 주진희, 건국대학교 녹색기술융합학과 교수
jjhkcc@kku.ac.kr