한작지(Korean J. Crop Sci.), 68(4): 413~421(2023)
DOI : https://doi.org/10.7740/kjcs.2023.68.4.413

ISSN 0252-9777(Print)
ISSN 2287-8432(Online)

Original Research Article

들깨 NaCl 농도, 온도에 따른 발아와 간척지 토양에서 용적밀도, 파종깊이, 염농도에 따른 출현 특성

오양열[1,†] · 이광승[1] · 옥희경[1] · 이학성[1] · 정서영[1] · 서보성[3] · 신영태[3] · 정강호[4] · 강방훈[2] · 조현숙[2] · 이수환[5] · 정진[3] · 김승연[3] · 김정인[6]

Optimal Salt Concentration and Temperature for Perilla Seed Germination and Soil Bulk Density, Sowing Depth, and Salinity on Emergence Rate in Reclaimed Soil

Yang-Yeol Oh[1,†], Kwang Seung-Lee[1], Hee-Kyoung Ock[1], Hak-Seong Lee[1], Seo-Young Jung[1], Bo-Seong Seo[3], Young-Tae Shin[3], Kang-Ho Jung[4], Bang-Hun Kang[2], Hyun-Suk Jo[2], Su-Hwan Lee[5], Jin Jung[3], Seung-Yeon Kim[3], and Jung-In Kim[6]

ABSTRACT Data on salt tolerance, optimal sowing depth, soil bulk density (pb) and cardinal temperatures required for the germination and emergence of perilla (*Perilla frutescens* (*L.*) Britt) are scarce for reclaimed land soil. An experiment was conducted across six temperature treatments (10, 15, 20 , 25, 30, and 35℃) to determine the cardinal temperature for perilla seed germination and four salinity levels (0, 20, 40, and 60 mM) to determine the salt tolerance. Another experiment was performed for quantifying the emergence response of perilla to pb (1.1, 1.3, and 1.5 g cm^{-3}), sowing depth (1, 2, 3, and 4 cm) and soil salinity. The results revealed that increased sodium chloride levels caused a significant reduction in the seed germination at Deulhyang and Sodam. The optimum upper limit temperature was less than 35℃. The optimal sowing depth and soil bulk density were 1 cm and 1.1 g cm^{-3} respectively. Perilla seedling growth was inhibited at 1.9 dS m^{-1} although varying responses were observed. These results aid our understanding of the germination and emergence rate of these crops and provide data for field cultivation to optimize crop sowing in reclaimed land.

Keywords : germination rate, perilla, salinity, seedling emergence, soil bulk density, sowing depth, temperature

간척지는 조수 간만의 차를 이용하여 내부의 물을 배제 후 매립사업을 통하여 이루어 놓은 땅을 말한다. 우리나라 간척지 면적은 약 13만 5천 ha로, 9만 5천 ha가 완공되었으며, 4만 ha가 공사 중이다(MAFRA, 2019). 이 중 농지로 이용되는 간척농지는 약 7만 4천 ha이며, 기존 조성된 간척지는 사업 초기 식량증산을 목적으로 벼가 주로 재배되어 왔는데, 최근 국민들의 식생활습관 변화, FTA에 의한 의무수입 등으로 국내 쌀 소비량은 지속적으로 감소추세이며, 환경문제에 대한 국민의 관심도 높아짐으로써 간척지 활용 방안에 대한 새로운 관점이 필요한 실정이다.

[1)]농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구팀 농업연구사 (Researcher, Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea)
[2)]농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구팀 농업연구관 (Senior Researcher, Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea)
[3)]농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구팀 연구원 (Post-Master, Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea)
[4)]농촌진흥청 농업연구관 (Senior Researcher, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Republic of Korea)
[5)]농촌진흥청 농업연구사 (Researcher, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Republic of Korea)
[6)]농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부 밭작물개발과 농업연구사 (Researcher, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Miryang 50424, Republic of Korea)

[†]Corresponding author: Yang-Yeol Oh; (Phone) +82-63-238-5317; (E-mail) nubira7777@korea.kr
<Received 26 October, 2023; Revised 9 November, 2023; Accepted 10 November, 2023>

ⓒ 본 학회지의 저작권은 한국작물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.
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.

간척지는 일반적으로 배수가 불량하고 지하수위 및 토양 염농도가 높기 때문에 작물 재배가 어렵다(Kim *et al*., 2011). 또한 토양 염농도가 낮아졌더라도 모세관 상승 등에 의하여 염분이 다시 올라오는 현상이 발생하여 염 피해가 발생될 수 있다. 모래함량이 많은 간척지 같은 경우 근권 내 토양 수분 보유력이 약하기 때문에 종자 발아를 위한 토양 내 충분한 수분이 유지되지 못하여 종자 파종깊이에 따라 발아 및 출현율이 떨어질 수 있다. Hwang (2023)은 간척지에서 파종종자 발아에 미치는 영향을 미치는 요인을 파악한 결과 토양온도, 토양수분, 토양유기물순으로 가장 영향을 미친다고 하였다. 종자 발아는 복잡하고 중요한 생물학적 과정이자 작물 생육기간이며(Kamkar *et al*., 2012), 다양한 유적적 환경적인 요소에 영향을 받는다(Shafii & Price, 2001). 결국 최종 발아율은 온도에 의해 제어되는데(Gummerson, 1986), 가장 중요한 작물 신장에 영향을 미치는 요소이다(Kamkar *et al*., 2008). 또한 염분도 종자의 발아를 저해하는 가장 중요한 요인 중 하나이다(Fricke *et al*., 2006). 출현율 또한 일년생 작물에서 가장 중요한 생물적인 기간이며(Forcella *et al*., 2000), 이 외에도 수분 이용성, 토양 pH, 파종깊이, 용적밀도는 건전종자의 출현율에 영향을 미치는 중요한 요소라 할 수 있다. 만약 온도 및 토양 pH, 수분, 염 스트레스가 없다면 출현율은 파종깊이와 용적밀도가 가장 영향을 미친다고 하였다(Soureshjani *et al*., 2019).

간척지는 국내 식량자급률 향상과 수입대체가 가능한 다양한 작물 생산을 유도하기 위해 새로운 소득작물 발굴이 시급하다. 들깨는(*Perilla frutescens* (*L*.) Britt)는 우리나라 통일신라시대부터 재배하고 있는 대표적인 유지작물 중 하나로써(Choung, 2005), 꿀풀과(Labiatae)에속하며, 일년생 초본식물이고(Kim *et al*., 2019), 다양한 토양에 적응성이 높다고 알려져 있으며(Chung *et al*., 1995), 우리나라 전 지역에서 생육이 가능한 작물로 일장에 매우 예민하며, 일장에 대한 감응은 유묘의 출현 이후부터 받으며, 생육이 진행될수록 민감하다(Kim *et al*., 2021). 들깨는 연질에 조지방 함량이 많으며, 종자가 두껍고 개화가 빠른 특징을 가지고 있다(Oh *et al*., 2018).

최근 들깨 생산액은 2021년 6,130억원으로 농가 소득작물로써 주목받고 있는데(KOSIS, 2021), 특히 종실은 주요 식용기름 및 차, 죽, 제과 등에 이용되고 있으며(Park *et al*., 2021), 2013년까지 다유, 들샘 등 28품종이 2014년부터 2022년까지 소담, 들향, 늘새미 등 5품종이 개발되었다.

일반적으로 들깨 발아 최적온도는 25℃, 최적 파종깊이는 1~3 cm라고 알려져 있다. 하지만 최근 개발된 품종을 가지고 수행된 발아시험이 없고, 간척지 토양에서 온도, 용적밀도, 파종깊이와 관련된 연구가 없기 때문에 기초자료로써 종자 발아 및 출현 등에 관한 연구가 필요하다. 본 연구는 대규모 간척지에서 종실용 들깨 재배을 위해서 간척지 환경조건인 염농도, 온도, 토양 용적밀도, 종자 파종깊이에 따라 초기 안정적인 발아 및 출현에 미치는 영향을 분석하고자 수행하였다.

재료 및 방법

들깨 발아 실내 시험

온도와 관개수 NaCl 염농도가 들깨 품종별 발아에 미치는 영향 평가를 위해서 Incubator (VS-1203P4S)에서 실시하였다. 시험재료는 5품종(다유, 들샘, 들향, 소담, 늘새미)의 충실한 50립의 종실을 선별하여 사용되었다. 온도조건은 6수준(10, 15, 20, 25, 30, 35℃)과 관개수 NaCl 염농도 4수준(0, 20, 40, 60 mM)에서 4반복 수행하였다.

살균 Petri-dish 900 × 15 mm에 여과지(Filter Paper#2) 2매를 깔고 10 ml NaCl 관개수 염농도 수준별로 주입하고 종실을 치상한 후 2 mm 이상 신장한 것을 발아한 것으로 간주하여 파종 후 12일까지 3일 간격으로 조사하여 발아세(치상 3일 후) 및 발아율(치상 6일 후)을 환산하였다.

간척지 토양에서 들깨 출현 시험

간척지 토양 용적밀도 및 파종깊이가 들깨 출현에 미치는 영향을 평가하기 위하여 전라북도 완주군 전라북도 완주군 이서면 국립식량과학원 유리온실에서 2022년 9월부터 10월까지 포트를 활용하여 수행하였다. 시험토양은 전라북도 김제시 광활면에 위치한 새만금간척지 내 국립식량과학원 시험포장(35.82802’N, 126.68856’E)의 토양을 2022년 8월 19일에 채취하여, 지름과 높이가 모두 18 cm이고 배수구가 있는 법랑 매탈 재질의 포트를 이용하였다. 시험재료는 종실용 들깨 다유 품종을 이용하였으며, 3립을 각 포트 중앙에 토양 용적밀도 및 파종깊이 수준별로 파종하고 출현한 개체는 더 이상 출현하지 않을 때까지 매일 기록하였다. 파종 깊이는 4개 수준(1, 2, 3, 4 cm), 용적밀도는 3개 수준(1.1, 1.3, 1.5 g cm^{-3}) 5반복 완전임의배치법으로 수행하였다. 시험 전 토양의 물리·화학성과 용적밀도 처리 후 물리성은 Table 1과 같다. 용적밀도 처리 후 토양 용적밀도 1.1 g cm^{-3} (P1)은 압력을 주지않았고, 1.3 g cm^{-3} (P2)은 손을 이용하여 압력을 주었으며, 1.5 g cm^{-3} (P3)은 망치와 손을 이용하여 압력을 주면서 포트 내 토양을 같은 높이로 토양을 채워 맞추었다. P3 처리구를 제외하고 나머지 처리구들은 공극률(Porosity)이 높아졌으며, 고상(Soild)의 비율이

Table 1. Physical and chemical properties of the experimental soil.

Treatment		Bulk density (g cm^{-3})	Porosity (%)	Solid (%)	Liquid (%)	Gas (%)	Gravimetric water content (%)
Before		1.38	47.1	52.2	27.5	20.3	27.5
After	P1*	1.11	58.1	41.9	47.4	10.7	47.4
	P2	1.31	50.5	49.5	24.7	25.8	24.7
	P3	1.50	43.3	56.7	22.7	20.6	22.7

pH (1:5)	EC (dS m^{-1})	OM (g kg^{-1})	Av. P_2O_5 (mg kg^{-1})	Ex. cations ($cmol_c$ kg^{-1})			
				K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
6.1	0.6	5.0	176.2	0.7	2.3	2.5	4.8

*P1 : Soil bulk density 1.1 g cm^{-3}.
P2 : Soil bulk density 1.3 g cm^{-3}.
P3 : Soil bulk density 1.5 g cm^{-3}.

낮아졌다. 토양 화학성은 용적밀도 전·후 모두 pH는 정상 범위였으며, 유기물은 5 g kg^{-1}으로 일반 토양 대비 5분의 1 수준이었으며, 치환성 Ca^{2+}도 적정범위(5-6) 대비 절반 수준이었다.

간척지 토양의 염농도가 들깨 출현 후 유묘기까지 생존에 미치는 영향을 구명하기 위해서 Table 1에서 사용된 토양을 이용하였다. 플라스틱 포트(40 × 25 × 30 cm)에 자갈을 배수구 높이만큼 채우고 포트 상단으로부터 5 cm까지 간척지 토양을 채운 후 목표 염농도에 맞추어 필요로 하는 천일염 양(X)을 다음과 같은 식을 이용하여 조절하였다.

$$\text{목표염농도}(\%)\frac{\text{X}(\text{kg})}{\text{포트넓이}(\text{m}^2)\times\text{토심}(0.2\text{m})\times\text{용적밀도}(\text{kg/m}^3)}\times 100$$

위의 식을 이용하여 계산한 천일염과 함께 질소, 인산, 칼리를 각각 10a당 4-3-2 kg 수준으로 파종 전 전량 기비하고, 들깨 5개의 품종(다유, 들샘, 들향, 소담, 늘새미)을 포트당 품종별로 2~3립씩 3반복 파종하였다. 출현 후 생존율은 출현한 들깨가 3-5엽기까지 생장한 개체를 기록하면서 산출하였다.

토양 조사 및 분석

토양 용적밀도와 공극률은 Steel cylinder (부피 100 m^3, 지름 5 cm, 높이 5.1 cm)를 이용하여 시료를 채취하여 실험실로 옮긴 후 코어 샘플의 무게를 측정하고 코어 시료를 빼내어 캔에 옮겨 담고 105℃에서 18시간 건조 후 무게를 측정하여 아래와 같은 식 (1)과 (2)로 계산하였다.

토양수분은 중량법으로 분석하였다. 채취한 습토시료를 105℃에서 건조한 직후 무게를 측정하여 다음 식 (3)과 같이 계산하였다.

$$\text{용적밀도}(\text{Mg m}^{-3}) = \text{건조토양무게}/\text{부피} \quad (1)$$

$$\text{공극률}(\%) : = 1-(\text{용적밀도}/\text{입자밀도})*100 \quad (2)$$

$$[(\text{습토무게}-\text{건토무게})/\text{건토무게}]*100 \quad (3)$$

토양 pH와 EC (Electrical Conductivity)는 1:5 침출법(토양: 증류수, 1:5,w/w)을 이용하여 pH-EC 미터기(Thermo, Orion Star A215, Thermo, Indonesia)로 분석하였다. EC는 측정된 값에 5를 곱한 데이터를 이용하였다. 유기물함량은 Dumas 방법으로 분석하였는데 원소분석기(Elementar, Vario MAX Cube, Germany)를 이용하여 질소를 산화시킨 후에 환원 회분로(reduction furnace)에서 질소산화물(NOx)을 질소가스(N_2)로 전환시켜 이를 열전도검출기로 측정하는 방법으로 분석하였다. 유효인산(AP)은 Lancaster법으로 비색 정량하여(Libra S80, Biochrom, England) 분석하였으며, 교환성양이온은 침출 후 ICP-OES (Varian, Vista-MPX, USA and Agilent Technologies, 5800 ICP-OES, USA)로 분석하였다.

통계분석

각 실험 데이터는 평균 또는 평균과 표준편차 값을 표시하였으며, 들깨 발아 및 출현율 등은 R (x64, 4.2.2) 프로그램을 이용하여 분산분석을 $p < 0.05$ 수준으로 수행하였으며, Duncan test를 통한 다중검정, 회귀분석 및 검정 등을 실시하였다.

결과 및 고찰

NaCl 농도, 온도에 따른 들깨 발아에 미치는 영향

들깨 발아세 및 발아율에 영향을 미치는 요인들에 대한 분산분석을 Table 2에 나타내었다. 치상온도(T), NaCl 관개수 염농도(W), 품종(C) 모두 발아에 영향을 주었으며, 특히 인자간 교호작용에도 모두 통계적으로 유의성을 나타내었다. 발아율은 관개수 염농도와 품종의 교호작용을 제외하고 나머지 요인 간에는 통계적으로 유의적 차이를 보였다.

NaCl 관개수 염농도에 따른 들깨 품종별 발아율은 Fig. 1과 같다. 다유는 무처리구(0 mM)에서 99.0%의 발아율을 보였으며, 20 mM에서는 무처리와 유의적 차이가 없었으며, 40 mM에서는 98.5%로 감소하기 시작하였으나, 60 mM에서도 97.0%의 높은 발아율을 나타내었다. 들샘은 무처리구(0 mM)에서 99.0%의 발아율을 보였으나, 20 mM에서 95.5%로 감소하였으며, 40 mM에서는 94.0%, 60 mM에서는 90.5%로 무처리구 대비 8.5%가 감소하였다. 들향은 무처리구(0 mM)에서 91.0%이었으며, 20 mM에서 88.0%로 감소하였으며, 40 mM에서는 86.5%, 60 mM에서는 79.0%로 무처리구 대비 13.1%가 감소하였다. 소담은 무처리구(0 mM)에서 90.5%의 발아율을 보였으며, 20 mM에서 85.5%, 40 mM에서는 86.5%,로 20 mM과 유의적으로 차이가 없었으며, 60 mM에서는 78.0%로 무처리구 대비 13.8%가 감소하였다. 마지막으로 늘새미는 무처리구(0 mM)에서 94.5%의 발아율을 보였으며, 20 mM에서 92.0%로 감소하였으며, 40 mM에서는 91.0%, 60 mM에서는 89.0%로 무처리구 대비 5.8%가 감소하였다.

많은 연구에서 몇몇 작물들은 발아와 유묘기동안 높은

Table 2. Variations in germination energy and germination rate of perilla seeds.

Crop	Source of variation	DF	Mean Square	
			Germination energy	Germination rate
Seed Perilla	Temperature (T)	6	28175***	44242***
	Water Salinity (W)	3	1773***	190***
	Cultivar (C)	9605	2401***	477***
	T*W	18	335***	42***
	T*C	24	508***	76***
	W*C	12	94***	8ns
	T*W*C	72	74***	15***

ns: non-significant difference.
*Significant difference at P≤0.05.
**Significant difference at P≤0.01.
***Significant difference at P≤0.001.

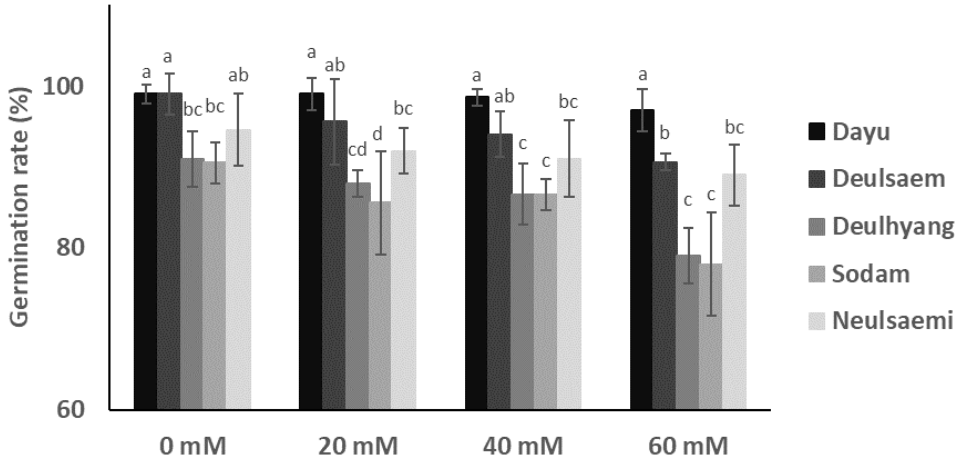


Fig. 1. Germination rate (%) of seeds of five perilla cultivars under different NaCl levels at 25°C. Each value is a mean of four replicates ± standard deviation of the mean.

염농도에 민감하다고 하였으며, 또한 발아가 안되는 이유 중 하나는 높은 염농도 때문에 종자 수분 흡수가 저해되거나 염 독성에 영향을 받기 때문이다라고 하였다(Atak *et al*., 2006). 염농도 증가에 반응하는 발아감소는 낮은 삼투포텐셜과 연관이 있으며 이는 결국 대사 활동 변화들을 야기시키며(Yupsanis *et al*., 1994), 종자 저장 이용성을 감소시킨다고 하였다(Ahmad & Bano, 1992). Hampson & Simpson (1990)은 발아와 초기 생장은 다양한 품종에 반응하여 염토양 내에서는 감소하지만 NaCl은 수분 흡수를 방해하면서 극단적인 삼투 포텐셜을 만들어냄으로써 종자 발아에 영향을 미친다고 하였다. 또한 van Hoorn (1991)은 NaCl 농도의 증가는 최종 발아율보다는 발아시간을 지연시킨다고 하였다.

Fig. 2는 들깨 치상온도를 10℃부터 35℃까지 5℃ 간격으로 설정하여 12일간 품종별 발아에 미치는 영향을 관찰하였다. 치상온도 10℃ 처리구에서는 3일차인 발아세가 0%이었으며 6일차인 발아율 또한 들샘만 0.5%로 대부분 발아가 안되었다. 9일차부터 늦게 발아가 되기 시작하여 12일차에 다유가 96.0%, 늘새미가 95.0%, 들샘이 91.5%, 들향이 84.5%, 소담이 79.0%의 발아상태를 보였다. 15℃ 처리구에서는 발아세는 다유가 84.0%로 가장 높았으며, 들샘과 늘새미가 각각 71.5, 63.5%, 들향과 소담은 각각 25.0, 5.0%로 낮았다. 발아율은 늘새미가 93.5%로 가장 높았으며, 들샘이 91.0%, 다유가 87.5% 들향이 87.0%, 소담이 78.5%로 가장 낮았다. 20℃ 처리구에서는 발아세는 다유, 들샘, 늘새미가 가장 높았으며, 들향과 소담은 각각 58.0, 40.5%로 낮았다. 발아율은 들샘이 96.0%로 가장 높았으며, 소담이 76.5%로 가장 낮았다. 30℃ 처리구에서는 발아세가 소담이 79.5%로 가장 낮았으나 대부분 86.5~93.5% 높은 발아율을 보였으며, 발아율은 늘새미가 86.5%로 가장 낮았다. 35℃ 처리구에서는 모든 품종이 12일간 발아하지 못하였다. Kamkar (2012)는 작물 생육속도에 대한 온도의 영향은 종자 발아 시기를 예측하기 위해서 사용되는 모델을 위한 기초라고 하였으며, 온도와 온도 측정은 종자 발아 같은 작물 생육

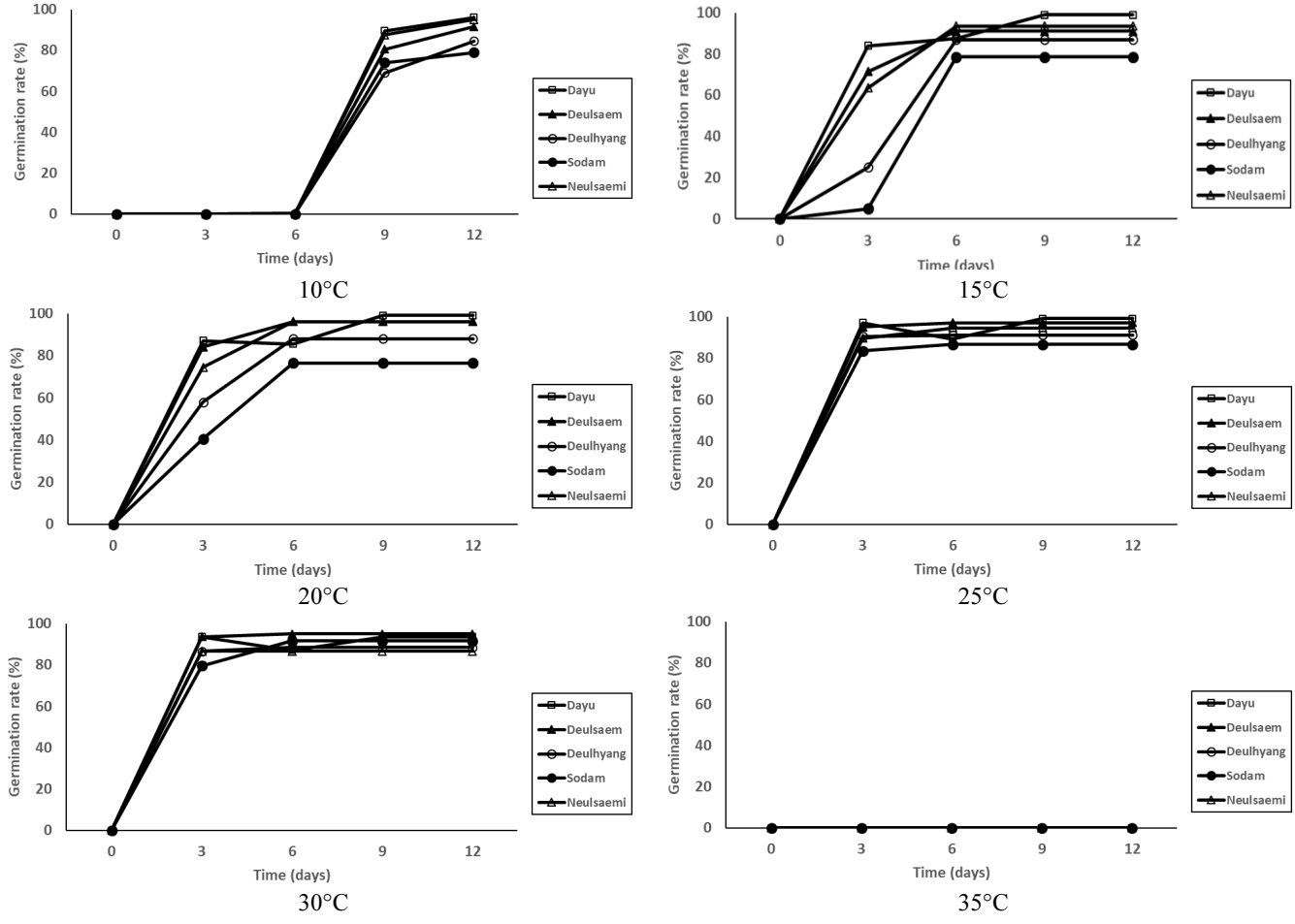


Fig. 2. Germination rates (%) of seeds of five perilla cultivars under different temperatures (10-35°C) during 12 days.

조절에서 가장 중요하게 영향을 미치는 인자이며, 종자 발아 특성을 예측하기 위해 필수적이다라고 하였다(Bare *et al*., 1978; Kamkar *et al*., 2008; Hedayatollah *et al*., 2019). 또한 종자 발아 시험을 통하여 작물의 열적 인식은 작물 재배를 위해서 적절할지 인지하는데 유용한 방법이며 결과적으로 수량 향상으로 이어진다고 하였다(Tolyat *et al*., 2014). Hegarty (1973)는 일반적으로 최적온도까지 온도와 발아율 사이에는 양적으로 선형적인 관계가 있다고 하였는데, 최근 Hwang (2023)이 분석한 간척지 토양 온도 분석을 살펴보면 4월 토양 최저온도는 11.7℃, 최고온도는 23.5℃ (±2.9)였으며, 7월 토양의 최저 온도는 23.6℃ 최고온도는 30.7℃ (±1.7)이었다. 만약 추후 간척지 농업적 활용에 따라서 작부체계나 온실 내에서 들깨 재배시 파종시기는 빨라지거나 늦어질수도 있기 때문에 25~30℃사이에서 파종을 하면 품종에 상관없이 안정적인 들깨 재배를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 발아에 영향을 주는 토양 표면 근처(5 cm 이하)의 온도는 심토보다 기상이나 농업적 기술 등에 영향을 많이 받고(Wu & Subbarao, 2008), 온도가 높아질수록 염농도에 영향을 받아 발아율이 낮아지는 경향이 있기 때문에(Jeong *et al*., 2014), 모래 함량이 많거나 염농도가 높은 간척지의 경우 온도에 따른 발아율에 주의하여 파종이 필요할 것으로 판단된다.

Table 3. Regression parameters of the emergence rate of perilla seeds under different soil bulk densities and sowing depths.

Variable	Parameter Estimate
Intercept	10.8385
pb	-4.8438***
D	-1.1167***
pb × D	-0.9375
RMSE	0.93862
R2	0.7108

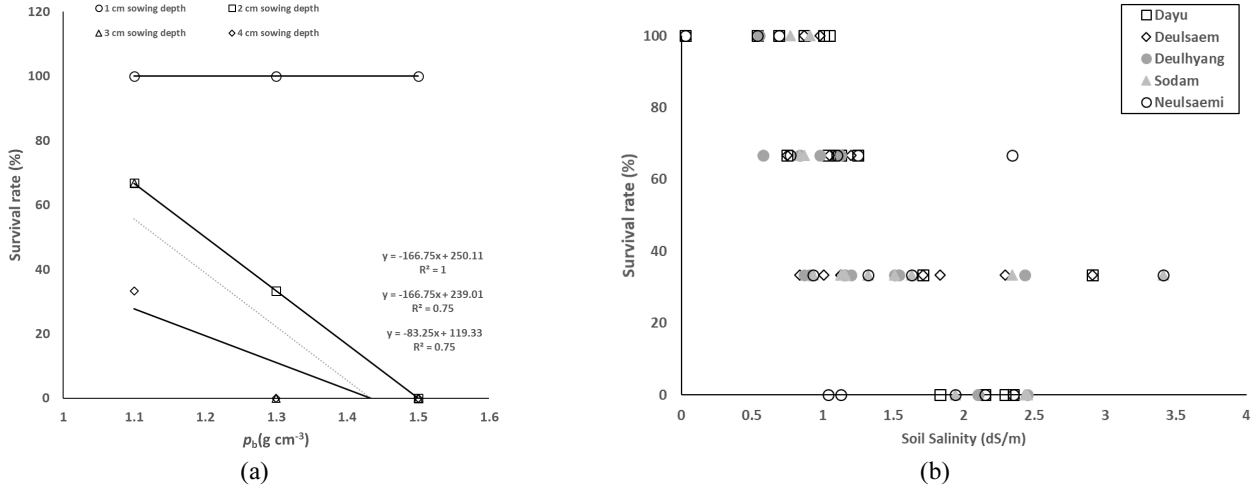
pb; soil bulk density.
D; sowing depth.
*Significant difference at P≤0.05.
***Significant difference at P≤0.001.

간척지 토양에서 들깨 출현에 미치는 영향

들깨 출현율에 대한 토양 용적밀도와 종자 파종깊이에 따른 회귀분석 지표평가를 Table 3에 나타내었다. 토양 용적밀도와 파종깊이는 모두 통계적으로 유의성을 보여(P < 0.001) 출현율에 영향을 준 것으로 보였으나, 파종깊이와 용적밀도의 교호작용에 대한 회귀분석은 통계적으로 유의성을 보이지 않았다.

Fig. 3(a)는 토양 용적밀도와 종자 파종깊이에 따른 들깨 출현 후 생존율을 나타낸 것이다. 종자 파종깊이가 1 cm에서는 모든 용적밀도에서 입모율이 100%이었으며, 2 cm는 용적밀도 1.1 g cm^{-3}에서는 66.7%, 1.3 g cm^{-3}에서는 33.3%, 1.5 g cm^{-3}에서는 출현이 되지 않았다. 3 cm에서는 토양 용적밀도 1.1 g cm^{-3}에서만 66.7%의 입모율을 보였으며, 나머지 처리구는 출현을 하지 않았다. 4 cm에서는 토양 용적밀도 1.1 g cm^{-3}에서만 33.3%의 입모율을 나타내었으며, 나머지 처리구는 출현을 하지 않았다.

일반적으로 종자 파종깊이는 작물 출현율, 입모율에 영향을 미치는 주요인자로 간주된다(O'Connor & Gusta, 1994; Zuo *et al*., 2017). 보통 발아 후 50% 이상 출현되는 시기는



(a) (b)

Fig. 3. Survival rate of perilla seeds under different soil bulk densities, sowing depths (a) and soil salinities (b).

파종깊이와 선형적으로 관계가 있다고 추정된다(Jame & Cutforth, 2004).

또한 토양 용적밀도는 수리전도도, 토양수분, 공극률 등의 특성들과 연관이 있는데 이는 토양 질의 기준이 되는 또 다른 중요한 인자라고 하였다(Dam *et al*., 2005). 이러한 인자들은 결과적으로 종자 출현, 뿌리 발달, 양분이용성 등에 영향을 미친다(Lapen *et al*., 2001). 이 실험의 결과와 같이 높은 용적밀도는 들깨 종자 출현에 영향을 미친다고 하였다(Hedayatollah *et al*., 2019). 하지만 약간의 토양 압밀(Compaction)은 작물 생장에 긍정적인 영향을 미치기도 하는데, 이는 뿌리와 토양의 접촉이 높은 양분 이동을 가능하게 하기 때문이라고 하였다(Arvidsson, 1999). 사질토양에서 1.4 g cm^{-3} 용적밀도까지 생장이 강화된다고 하였으며(Alameda *et al*., 2012), 식양토에서는 1.6 g cm^{-3}, 양질사토에서는 1.3 g cm^{-3}에서 최적의 생장을 보였다고 하였다(Tracy *et al*., 2013). 일반적으로 너무 얕은 파종깊이는 토양 층 내 부적절한 토양 수분 때문에 발아율이 저조하며, 너무 깊은 파종깊이는 작물 출현과 수량에 상당히 감소를 일으킨다고 하였다(Ali & Idris, 2015). 이는 용적밀도 범위에 따라서 식물의 생장에 우호적 또는 제한적 일수도 있기 때문에 모든 작물에 대한 각각의 실험이 필요할 것으로 보이지만, 일반적으로 모래함량이 많은 간척지에서는 파종깊이가 3 cm, 점토함량이 많은 간척지에서는 1 cm가 적당한 것으로 판단되지만. 로터리를 이용하여 간척지 토양 용적밀도를 낮출 수 있다면 보다 다양한 파종 깊이에서 안정적인 발아 및 출현을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 3(b)는 토양 염농도에 따른 들깨 품종별 출현후 생존율을 나타낸 것이다(n=88). 토양 염농도에 따른 생존율은 목표 염농도에 따른 천일염을 토심에 맞게 환원한 다음 들깨 출현 후 토양을 채취하여 EC를 분석한 값이다. 토양 염농도에 따라 들깨 품종별 출현후 생존율은 유의성을 보이지 않았으나, 1.1 dS m^{-1}까지는 안정적인 입모가 되었으며, 1.25 dS m^{-1}까지도 생존이 가능할 것으로 보였으나. 1.9 dS m^{-1} 이상은 출현 또한 힘들 것으로 보인다. 간척지 토양에 파종된 종자는 보통 토양에서보다 낮은 입모율을 보이며, 원인으로는 토양유기물 함량이 낮고 일반 토양보다 높은 Na^{+} 이온으로 인해 종자 수분흡수에 장해를 받기 때문이라고 하였다(Kim *et al*., 2017).

보통 토양 염농도는 높은 증발산량 때문에 토양 내 염 축적이 발생한다(Meiri, 1984). 이러한 염 축적은 작물 생육에 영향을 미치는데 그 정도는 굉장히 다르다(Bernstein, 1975). 같은 염농도 환경에서도 작물이 다르다면 아마도 다른 생장반응이 나타날 것이라고 하였다(Mass & Hoffman 1977). 일반적으로 염분 스트레스는 광합성 산물의 동화와 전좌의 효율을 저해한다(Xiong & Zhu, 2002).

적 요

본 연구는 간척지 들깨 재배을 위하여 품종별 NaCl 처리, 치상온도 조건에 따른 발아율과 토양 용적밀도, 염농도, 종자 파종깊에 따른 출현 후 생존율을 분석하여 간척지 새로운 소득작물로써 들깨의 안정적 재배를 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

1. NaCl 관개수 염농도, 치상온도, 들깨 품종 모든 요인이 발아에 영향을 주었으며, 관개수 염농도가 높아질수록 다유 > 들샘, 늘새미 > 들향, 소담 순으로 높은 발아율을 보였다.
2. 치상온도에 따른 들깨 발아율은 10℃에서는 다른 처리구보다 발아기간이 늦었으며, 35℃에서는 발아하지 못하였다.
3. 토양 용적밀도와 종자 파종깊이에 따른 들깨 출현 후 생존율은 1.1 g cm^{-3}에서는 3 cm 깊이까지, 1.3 g cm^{-3} 수준에서는 2 cm 깊이까지, 1.5 g cm^{-3} 수준에서는 1 cm 깊이까지 출현을 하였다.
4. 토양 염농도에 따른 생존율은 품종별로 유의성을 보이지 않았으며, 1.1 dS m^{-1}까지는 안정적으로 생존이 될 것으로 보이며, 1.9 dS m^{-1} 이상에서는 안정적인 출현이 힘들 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구사업(과제번호: PJ015882022023)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

Ahmad, J. and M. Ban. 1992. The effect of sodium chloride on physiology of cotyledons and mobilization of reserved food in Cicer arietinum. Pakistan J. Bot. 24 : 40-48.

Alameda, D., N. P. R. Anten, and R. Villar. 2012. Soil compaction effects on growth and root traits of tobacco depend on light, water regime and mechanical stress. Soil Tillage Res. 120 : 121-129.

Ali, S. A. and A. Y. Idris. 2015. Effect of Seed Size and Sowing Depth on Germination and Some Growth Parameters of Faba Bean (*Viciafaba* L.). Agricultural and Biological Sciences Journal. 1(1) : 1-5.

Arvidsson, J. 1999. Nutrient uptake and growth of barley as affected by soil compaction. Plant Soil. 208 : 9-19.

Atak, M., M. D. Kaya, G. Kaya, Y. Cujukum, and C. Y. Ciftci. 2006. Effects of NaCl on the germination, seedling growth and water uptake of triticale. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 30 : 39-47.

Bare, C. E., V. K. Toole, and W. A. Gentner, 1978. Temperature and light effects on germination of Papaver *bracteatum Lindl*., P. *orientale* L., and P. *somniferum* L. Planta Med. 34 : 135-143.

Bernstein, L. 1975. Effect of salinity and sodicity on plant growth. Ann. Rev. Phytopathol. 13 : 295-312.

Choung, M. G. 2005. Comparison of major characteristics between seed perilla and vegetable perilla. Korean J. Crop Sci. 50(S) : 171-174.

Chung, I. M., S. J. Yun, J. T. Kim, J. G. Gwag, J. D. Sung, and H. S. Suh. 1995. Test of superoxide dismutase characteristics and anti-oxidant activity in perilla leaves. Korean Journal of Crop Science. 40(4) : 504-511.

Dam, R. F., B. B. Mehdi, M. S. E. Burgess, C. A. Madramootoo, G. R. Mehuys, and I. R. Callum. 2005. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. Soil Tillage Res. 84 : 41-53.

Forcella, F., R. L. Benech-Arnold, R. Sanchez, C. M. Ghersa. 2000. Modeling seedling emergence. F. Crop. Res. 67 : 123-139.

Fricke, W., G. Akhiyarova, W. Wei, E. Alexanderssn, A. Miller, P. O. Kjellbom, A. Richardson, T. Wojciechowski, L. Schreiber, D. Veselov, G. Kudoyarova, and V. Volkar. 2006. The short term growth responses to salt of the developing barley leaf. Journal Experimental Botany. 57(5) : 1079-1095.

Gummerson, R. J. 1986. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. J. Exp. Bot. 37 : 729-741.

Hampson, C. R. and G. M. Simpson. 1990. Effect of temperature, salt and osmotic potential on early growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). I. Germination. Can. J. Bot. 68 : 524-528.

Hedayatollah, K. S., M. Bahadorb, M. R. Tadayonb, and A. G. Dehkordic. 2019. Modelling seed germination and seedling emergence of flax and sesame as affected by temperature, soil bulk density, and sowing depth. Industrial Crops & Products. 141 : 111770.

Hegarty, T. W. 1973. Temperature Relations of Germination in the Field. Seed Ecol. Butterworths London. 411-432.

Hwang, B. S. 2023. The germiantion characteristics according to organin treatment and seeding season of Revegetation species used on the Saemangeum Reclaimed land. Dankook University Graduate School Doctoral Thesis.

Jame, Y. W. and H. W. Cutforth. 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. Agric. For. Meteorol. 124 : 207-218.

Jeong, J. H., S. Kim, J. H. Lee, W. Y. Choi, K. B. Lee, and K. M. Cho. 2014. Germination and growth response of Spergularia marina Griseb by salt concentration. Korean Journal of Crop Science. 59(2) : 139-143.

Kamkar, B., M. Ahmadi, A. Soltani, and E. Zeinali. 2008. Evaluating non-linear regression models to describe response of wheat emergence rate to temperature. Seed Sci. Biotechnol. 2 : 53-57.

Kamkar, B., M. J. Al-Alahmadi, A. Mahdavi-Damghani, and F. J. Villalobos. 2012. Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds to germinate using non-linear regression models. Ind. Crops Prod. 35 : 192-198.

Kim, D. J., A. D. Assefa, Y. J. Jeong, Y. A. Jeon, J. E. Lee, M. C. Lee, H. S. Lee, J. H. Rhee, and J. S. Sung. 2019. Variation in Fatty Acid Composition, Caffeic and Rosmarinic Acid Content, and Antioxidant Activity of Perilla Accessions. Korean J. Med. Crop Sci. 27(2) : 96-107.

Kim, H. J., .R. Kim, and H. N. Woo. 2011. Properties and fate of nitrogen in a reclaimed tidal soil. CNU Journal of Agricultural Science. 38(2) : 301-307.

Kim, J. I., M. H. Lee, S. U. Kim, E. Y. Oh, T. J. Ha, K. W. Oh, K. S. Cho, and C. S. Jung. 2021. Quality Characteristics of Perilla frutescens Cultivars According to Different Sowing Dates. Korean Journal of Crop Science. 66(4) : 403-410.

Kim, S., J. H. Ryu, C. H. Paik, S. H. Lee, Y. Y. Oh, and J. T. Lee. 2017. Characteristics of emergence and growth of sorghum at various soil salinities and seeding methods in reclaimed soil. Korean Journal of Crop Science. 62(3) : 233-240.

Korean Statistical Information Servive (KOSIS). 2021. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=114&tblId=DT_114_2014_S0002&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=K1_11&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE. Last accessed on November 24, 2023.

Lapen, D. R., G. C. Topp, E. G. Gregorich, H. N. Hayhoe, and W. E. Curnoe. 2001. Divisive field-scale associations between corn yields, management, and soil information. Soil Tillage Res. 58 : 193-206.

Mass, E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. J. Irrig Drain Div. 103 : 115-134.

Meiri, A. 1984. Plant response to salinity: Experimental methodology and application to the field. Soil salinity under irrigation processes and management. Springer-Verlag, Berlin.

Ministy of Agriculture, Food and Rual Affairs (MAFRA). 2019. Comprehensive agricultural and fishery use plan for reclaimed land.

O'Connor, B. J. and L. V. Gusta. 1994. Effect of low temperature and seeding depth on the germination and emergence of seven flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars. Can. J. Plant Sci. 74 : 247-253.

Oh, E. Y., M. H. Lee, J. I, Kim, S. Kim, S. B. Pae, and T. J. Ha. 2018. Estimation of Oil Yield of Perilla by Seed Characteristics and Crude Fat Content. Korean Journal of Crop Science.

63(2) : 158-163.

Park, J. E., M. H. Lee, K. Y. Oh, S. U. Kim, E. Y. Oh, T. J. Ha, K. S. Cho, C. S. Jung, and J. I. Kim. 2021. Agricultural and Quality Characteristics in Recombinant Inbred Lines (RILs) Population in Perilla (Perilla frutescens. Korean Journal of Crop Science. 66(3) : 248-255.

Shafii, B. and W. J. Price. 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. J. Agric. Biol. Environ. Stat. 6 : 356-366.

Soureshjani, H. K., M. Bahador, M. Tadayon, and A. G. Dehkordi. 2019. Modelling seed germination and seedling emergence of flax and sesame as affected by temperature, soil bulk density, and sowing depth. Industrial Crops and Products. 141 : 111770.

Tolyat, M. A., R. T. Afshari, M. R. Jahansoz, F. Nadjafi, and H. A. Naghdibadi. 2014. Determination of cardinal germination temperatures of two ecotypes of Thymus daenensis subsp. daenensis. Seed Sci. Technol. 42 : 28-35.

Tracy, S R., C. R. Black, J.A. Roberts, and S. J. Mooney. 2013. Exploring the interacting effect of soil texture and bulk density on root system development in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Environ. Exp. Bot. 91 : 38-47.

van Hoorn, J. W, 1991. Development of soil salinity during germination and early seedling growth and its effect on several crops. Agricultural Water Management. 20 : 17-28.

Wu, B. M. and K. V. Subbarao. 2008. Effects of Soil Temperature, Moisture, and Burial Depths on Carpogenic Germination of *Sclerotinia sclerotiorum* and S. *minor*, Ecology and Epidemiology https://doi.org/10.1094/PHYTO-98-10-1144 on September 11, 2008.

Xiong, L. and J. K. Zhu. 2002. Molecular and genetic aspects of plantresponses to osmotic stress. Plant Cell Environ. 25 : 131-139.

Yupsanis, T., M. Moustakas, and K. Domiandou. 1994. Protein phosphorylation-dephosphorylation in alfalfa seeds germination under salt stress. J. Plant Physiol. 143 : 234-240.

Zuo, Q, J. Kuai, L. Zhao, Z. Hu, J. Wu, and G. Zhou. 2017. The effect of sowing depth and soil compaction on the growth and yield of rapeseed in rice straw returning field. Field Crops Research. 203 : 47-54.