

주 의 (편집 순서 8) (16 포인 트 고딕 체) ↑ 15cm ↓	P G 2 3 1 0 0 북극식물종자생리활성검증을 통한 장기 보존 및 국내 반입 전략 개발 한국해양연구원 부설 극지연구소 ↑ 3cm ↓	↑ 보고서발간번호 (14포인 트 중 고딕 체) 5cm ↓ 북극 식물 종자 생리활성 검증을 통한 장기 보존 및 국내 반입 전략 개발 Development of Long-Term Preservation and Domestic Introduction Strategies through Verification of Arctic Plant Seed Viability KOPRI 극지연구소 ↑ 5cm ↓ 2024. 11. 27 (16 포인 트 신 명 조 체) 한 국 해 양 연 구 원 부 설 극 지 연 구 소 (17 포인 트 명 조 계 열) ↑ 4cm ↓
--	---	---

UST Young Scientist+ 양성 사업 최종보고서

UST Young Scientist+ Research Program Final Report

과제번호 Grant Number		PG23100					
과제명 Project Title	국문 Korean	북극 식물 종자 생리활성 검증을 통한 장기 보존 및 국내 반입 전략 개발					
	영문 English	Development of Long-Term Preservation and Domestic Introduction Strategies through Verification of Arctic Plant Seed Viability					
스쿨/캠퍼스 School • Campus		극지연구소		전공 Major	극지과학		
UST 학생 UST Student	성명 Name	장승연	학위과정 Course	박사과정	연락처 Contact	(E-mail) xionxoz@kopri.re.kr (Mobile) 010-3145-3273	
지도교수 Advisor	성명 Name	이유경	직급/직위 Position	책임연구원 (전임교원)	연락처 Contact	(E-mail) yklee@kopri.re.kr (Mobile) 010-5800-8623	
연구기간 Period	2023.12.01. ~ 2024.11.30.			총연구비 Grants	15,750,000	원 KRW	

2022년도 UST Young Scientist+ 양성 사업 최종보고서를 붙임과 같이 제출합니다. 보고서에는 사실과 다른 내용이 포함되지 아니하였으며, 만약 허위사실이나 중대한 오류가 발견 될 경우에는 그에 상응하는 불이익을 감수할 것임을 서약합니다.

I hereby submit the Final Report of 2023 UST Young Scientist+ Research Program as attached. To the best of my knowledge, all of the information included in my report is true and I will take any penalty if false information or serious error is found in my report.

첨부 : 최종보고서 1부.

Attachment: Final Report

2024. 11. 27.

UST 학생
UST Student

:

장승연

(서명)
Signature

지도교수
Advisor

:

이유경

(서명)
Signature

과학기술연합대학원대학교 총장 귀하

To the President of University of Science and Technology

요 약 문

I. 제목

북극 식물 종자 생리활성 검증을 통한 장기 보존 및 국내 반입 전략 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 북극 기후변화 대응
- 식물 자원 확보의 중요성
- 북극 식물 연구 활성화를 통한 국제적 및 과학적 기여

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 북극 식물 종자 저장성 및 활력 평가
- 북극 식물 종자 동결 저항성 평가 (국제공동연구)
- 온라인 기반 정보 시스템 북극 식물 종자 정보 업데이트
- 북극 식물 종자 검사방법 및 품질관리 매뉴얼 구축
- 북극 식물 종자 국내 반입 전략 수립

IV. 연구개발결과

- 스발바르 일대 북극식물 종자 24종 수집 및 데이터베이스 구축 및 매뉴얼 작성 완료
- 국내 반입을 위한 수집 허가 절차 및 식물 검역 관련 인증서 획득
- 국제 연구자들과의 협력 관계 구축 및 공동연구 기회 확대
- 동결 저항성 평가를 통한 7종의 종자 발아율 및 동결 스트레스 특성에 관한 데이터 확보

V. 연구개발결과의 활용계획

- 북극식물 종자 매뉴얼 발간
- 국제 온라인 데이터 아카이브 데이터 제공
- 반입한 종자 활용 연구 (북극식물 종자 동결 저항성 평가 및 실용화 연구)

S u m m a r y

I . Title

Development of Long-Term Preservation and Domestic Introduction Strategies through Verification of Arctic Plant Seed Viability

II . Purpose and Necessity of R&D

- Increased threat to Arctic plant species due to climate change
- Emphasis on the importance of international biodiversity conservation
- Lack of fundamental data on Arctic plant seeds

III . Contents and Extent of R&D

- Evaluation of storage longevity and viability of Arctic plant seeds
- Investigation of freezing resistance of Arctic plant seeds (International collaborative research)
- Updating Arctic plant seed information on an online-based information system
- Development of inspection methods and quality management manuals for Arctic plant seeds
- Establishment of strategies for importing Arctic plant seeds into Korea

IV . Results of R&D

- Collection of 24 Arctic plant seed species from the Svalbard region and completion of database development and manual creation
- Obtained collection permits and plant quarantine certifications for domestic importation
- Established collaborative relationships with international researchers and expanded opportunities for joint research
- Acquired data on germination rates and freeze stress characteristics of 7 seed species through freeze resistance evaluations

V . Application plan of R&D results

- Publication of an Arctic plant seed manual
- Provision of data to international online archives
- Research using imported seeds (evaluation of Arctic plant seed freezing resistance and utilization studies)

목 차

I. 연구 개요	(6)
1. 연구 필요성	(6)
2. 연구목표	(7)
3. 연구내용	(7)
II. 연구 수행내용 및 과정	(7)
1. 사업 추진전략	(7)
2. 연구 수행사항	(7)
III. 연구 수행결과 및 목표달성 수준	(11)
1. 연구 수행결과	(11)
2. 목표달성 수준	(12)
IV. 연구 성과 및 관련 분야 기여도	(12)
V. 연구결과의 활용방안	(12)
VI. 참고문헌	(13)
VII. 주요 연구실적	(14)
1. 연구실적 요약	(14)
2. 학술지 논문	(14)
3. 학회 논문	(14)
4. 특허출원·등록	(14)
5. 대내·외 수상	(14)
VIII. 국외출장 현황	(15)
IX. 전문가 교류내역	(15)
X. 연구비 집행 현황	(16)
XI. 지도교수 의견	(16)

C O N T E N T S

I. Overview	(6)
1. Necessity of the study	(6)
2. Objective of the study	(7)
3. Contents of the study	(7)
II. Research content and process	(7)
1. Strategy of R&D	(7)
2. Contents of R&D	(7)
III. Research result and achievement	(11)
1. Results of R&D	(11)
2. Achievement of R&D	(12)
IV. Research performance and contribution	(12)
V. How to use research results	(12)
VI. References	(13)
VII. Project outputs	(14)
1. Summary	(14)
2. Journal paper	(14)
3. Conference paper	(14)
4. Patent application & registration	(14)
5. Award	(14)
VIII. Overseas business trips	(15)
IX. Network of experts	(15)
X. Research expenses	(16)
XI. Advisor's Comments	(16)

I. 연구개요

1. 연구필요성

○ (북극 기후변화 대응)

북극은 전 지구 평균보다 약 3배 빠르게 기온이 상승하고 있으며, 이로 인해 북극 생태계의 변화가 빈번히 발생하고 있다 (Rantanen *et al.* 2021). 특히 스발바르는 1910년대 이후 평균 기온이 5°C 이상 상승하여 강설량 증가 및 Rain-on-Snow 현상이 발생, 식물 개체군 구조에 영향을 미치고 있다 (Lopez-Moreno *et al.* 2021., Pedersen *et al.* 2022). 스발바르에 서식하는 198종의 식물 중 약 4분의 1이 멸종 위기에 처해 있으며, 기온 상승으로 아북극 식물의 북상과 특정종의 우점화가 촉진되어 종 다양성이 감소될 우려가 있다 (Berner & Goetz 2022). 이러한 상황에서 기후변화가 종자 생리 및 생존에 미치는 영향을 평가하고 효과적인 대응 방안을 마련해야 한다. 가장 안전하고 효율적인 보전 방법은 종자를 체계적으로 보존하는 것이다.

○ (북극 식물 자원 확보의 중요성)

현재까지 북극 식물 자원을 국내로 반입한 사례는 없다. 국내 연구를 활성화하려면 북극 식물 자원을 확보하고, 이를 기반으로 다양한 생리학적, 생태학적 연구를 진행할 필요가 있다. 이는 북극 생물다양성 보존뿐 아니라 국내 연구 역량을 강화하는 데에도 필수적이다.

○ (북극 식물 종자 기초자료 미비)

북극 식물 연구는 국내외적으로 제한된 상황이며, 이에 따라 종자 보전을 위한 기초 자료와 체계적인 저장 매뉴얼이 부족하다. 이러한 자료의 부재는 북극 생물다양성 보존을 위한 과학적 기반 구축에 큰 장애가 되고 있다.

○ (북극 식물 연구 활성화를 통한 국제적 및 과학적 기여)

북극 생태계 연구는 기후변화에 대응하기 위한 중요한 과학적 분야로 자리 잡고 있다. 그러나 국내에서 북극 식물을 활용한 연구는 *Cerastium arcticum*의 Dehydrin 연구 (윤호성 & 김일섭 2016., 김한우 & 박애경 2020)를 제외하고는 거의 전무하다. 북극 식물 연구 네트워크를 활성화하고, 북극 식물 종자 연구를 통해 국제적 및 과학적으로 기여하며, 글로벌 기후변화 대응에 기여할 수 있다.

2. 연구목표

- 북극 식물 종자 저장성 및 활력 평가
- 북극 식물 종자 품질 및 저장관리 매뉴얼 작성
- 북극 식물 종자 정보 확보 및 온라인 기반 정보 시스템 업데이트
- 북극 식물 종자 동결 저항성 평가
- 북극권 국가 간 연구 교류 증진
- 북극 식물 자원 확보

3. 연구내용

- 북극 식물 종자 저장성 및 활력 평가
- 북극 식물 종자 발아요구조건 규명 및 종자 동결 저항성 평가 (국제공동연구)
- 온라인 기반 정보 시스템 북극 식물 종자 정보 업데이트
- 북극 식물 종자 검사방법 및 품질관리 매뉴얼 구축

II. 연구 수행내용 및 과정

1. 사업 추진전략



그림 2. 사업 추진 전략 모식도

2. 연구 수행사항

- 북극 식물 종자 수집
 - ▷ 2024년 7월 27일부터 8월 15일까지 스발바르 일대 북극식물 종자 14과, 24종, 56점을 수집하였다.
- 북극 식물 종자 저장 및 활력 평가
 - ▷ 저장 온도와 종자 내 평형상대습도(Equilibrium Relative Humidity, eRH)는 종자 저장에 영향을 미치는 주요 요인이다. 평형상대습도는 저장 환경에서 종자가 주변 상대습도와 평형을 이루는 상태로, 종자가 수분을 흡수하거나 방출하는 과정에서 결정된다. 평형상대습도가 높을 경우 미생물 활성화, 효소 활동, 호흡률이 증가하여 종자의 수명이 단축된다.
 - ▷ 종자를 15℃, 15% 상대습도의 조건에서 평형상대습도가 30% 이하로 유지되도록 건조 후 저장하는 것이 중요하다. 저장 온도는 4℃와 -20℃로 설정하며, 저장 기간별 종자 활력 변화를 측정하여 저장 특성을 평가한다.

○ 북극 식물 종자 품질 및 저장관리 매뉴얼 작성

- ▷ 북극 식물 종자의 품질 및 저장관리 매뉴얼은 ① 관리 요령과 ② 종별 종자 정보로 구성된다.

관리 요령: 종자 수집, 정선, 품질 평가 방법, 저장 방법에 대한 절차

종별 종자 정보: 수집 위치 및 날짜, 형태학적 정보, 분광학적 정보, 정선법, 천립중, 평형상대습도, 저장 특성, 발아요구조건, 활력도, 충실률¹⁾, 발아 유묘의 형태학적 정보

○ 북극 식물 종자 정보 확보 및 온라인 기반 정보 시스템 업데이트

- ▷ 매뉴얼에 포함하는 종별 종자 정보 데이터를 종별 국제 온라인 기반 정보 시스템 ‘SeedArc’ 에 종자 데이터를 제공한다.

○ 북극 식물 종자 동결 저항성 평가

- ▷ 동결 저항성 평가를 위한 북극식물 24종에 대해 종별 발아요구조건을 측정하였으며, 식물의 생태적 중요성, 서식지 특성 등을 고려하여 7종을 선정하였다(표 1).
- ▷ 온도 25/15℃, 광 12/12 시간 조건에서 증류수와 발아촉진물질인 지베렐린을 처리한 종자에 대한 발아율을 측정하였다.
- ▷ 동결 저항성 평가는 건조 종자와 4℃ 온도에서 수분을 72시간 흡수한 종자를 대상으로 수행하였다. 동결 처리는 대조처리 25℃와 동결처리 -5, -15, -25, -50℃ 조건에 24시간 노출되었다. 평가방법은 국제종자검정협회(ISTA) 기준에 따라 발아 검정을 수행하였다. 발아율은 다음과 같다:

발아율(Percent Germination: PG) = (N / S) × 100 (N: 총 발아수; S: 총 공시 종자수)

표1. 북극 식물 종자 동결 저항성 평가 대상 종과 snowbed의 보호 여부

Scientific name	Korean name	Habitat	snowbed의 보호
Bistorta vivipara	씨범꼬리	Dry Heath	정보 없음
Cerastium arcticum	북극점나도나물	Wet Moss tundra	중
Eriophorum scheuchzeri	북극황새풀	Marsh	정보 없음
Oxyria digyna	나도수영	Rock	중
Saxifraga cespitosa	다발범의귀	Rock	중
Silene acaulis	북극이끼장구채	Dry Heath	중
Silene uralensis	북극풍선장구채	Rock	약

○ 북극권 국가 간 연구 교류 증진

- ▷ 극지연구소의 정책·지원 과제 ‘신흥 극지연구 주제 논의 주도를 위한 국

1) 충실률은 백두대간수목원 X-ray의 고장으로 인해 측정이 불가하여 매뉴얼에 입력되지 않았음.

제협력 활동 이행 연구(PE23560)’에 극지신진과학자협회(APECS) 한국 회원으로서 참여하여, 북극프론티어(Arctic Frontiers) 참관을 통해 북극 정책 및 연구 동향을 파악하였다. 또한, 북극 연구자 및 정책 담당자, 원주민과의 소통을 통해 북극 식물 연구에 대한 통찰을 얻었다.

- ▷ 덴마크 코펜하겐대학교의 북극 INTERACT 프로젝트 ‘북극 식물 종자 생태 (Arctic Seed Germination Ecology)’ 책임자와 협력하여 2개월(2024년 8월 15일 ~ 2024년 10월 15일)간 방문 연구를 수행하였다.

○ 북극 식물 자원 확보

- ▷ 스발바르 정부로부터 종자 수집 허가를 받기 위해 ‘Research in Svalbard²⁾’ 포털에 연구 및 수집 계획서를 제출하여, 스발바르의 수집 규칙에 따라 종자를 확보하였다.
- ▷ 대한민국의 수입 규정에 따르면, 종자 반입 시 수출국의 식물검역증명서가 필요하다. 하지만 스발바르는 검역 시스템이 없어 증명서 발급이 불가하다. 이에 따라 농림축산검역본부고시 제2019-58에 명시된 <재식용 또는 번식용 식물 중 식물검역증명서의 첨부 제외 기준, 승인 절차 및 방법>에 기반하여 검역을 수행하여 국내 반입 전략을 수립하였다.

III. 연구 수행결과 및 목표달성 수준

1. 연구 수행결과

○ 북극 식물 종자 저장 및 활력 평가

- ▷ 종자 저장 특성 평가를 위해 2024년 수집한 종자의 수분활성도 측정기를 이용하여 평형상대습도(eRH)와 테트라졸륨 검정을 통한 활력 검정을 수행하였다 (표 1).
- ▷ 평형상대습도와 활력 검정을 완료한 종자는 4, -20℃에 저장하였으며, 6개월, 1년, 2년 후 활력 검정을 통해 저장 특성을 평가하고자 한다.

표 2. 북극 식물 종자의 평형상대습도(eRH) 측정 결과

Family	Scientific name	Korean name	Temp (°C)	eRH (%)	Storage behaviour	Vigor (%)
Poaceae	<i>Alopecurus ovatus</i>	북극뚝새풀	21.01	38.38		충실x
Polygonaceae	<i>Bistorta vivipara</i>	씨범꼬리	21.65	38.3		90
Ericaceae	<i>Cassiope tetragona</i>	북극종꽃나무			Uncertain	40
Caryophyllaceae	<i>Cerastium arcticum</i>	북극접나도나물	21.29	33.18	Orthodox	67
Saxifragaceae	<i>Chrysosplenium tetrandum</i>	북방황금괭이눈	21.56	24.59	Uncertain	40
Brassicaceae	<i>Cochlearia groenlandica</i>	그린란드고추냉이	21.64	29.55	Orthodox*	100
Brassicaceae	<i>Draba alpina</i>	고산꽃다지	21.49	34.16		90
Rosaceae	<i>Dryas octopetala</i>	담자리꽃나무			Orthodox	10

2) <https://www.researchinsvalbard.no/project/08dc2e8b-cb72-f2e7-1a9d-f3a629310000/project-info>

Asteraceae	<i>Erigeron humilis</i>	애기개망초				90
Cyperaceae	<i>Eriophorum scheuchzeri</i>	북극황새풀			Orthodox	80
Juncaceae	<i>Luzula confusa</i>	북극꿍의밥	21.6	37.32		60
Polygonaceae	<i>Oxyria digyna</i>	나도수영	21.04	33.96	Uncertain	80
Papaveraceae	<i>Papaver dahlianum</i>	스발바르양귀비	20.77	29.01		40
Orobanchaceae	<i>Pedicularis hirsuta</i>	긴털송이풀	21.42	32.69		67
Rosaceae	<i>Potentilla pulchella</i>	다발양지꽃	21.13	28.63		100
Ranunculaceae	<i>Ranunculus sulphureus</i>	유황미나리아재비	21.2	32.15		82
Caryophyllaceae	<i>Sagina nivalis</i>	눈개미자리			Orthodox	60
Salicaceae	<i>Salix polaris</i>	북극콩버들			Orthodox	69
Saxifragaceae	<i>Saxifraga cespitosa</i>	다발범의귀	20.98	29.63	Orthodox	20
Saxifragaceae	<i>Saxifraga oppositifolia</i>	자주범의귀	21.5	30.91	Orthodox	40
Saxifragaceae	<i>Saxifraga platysepala</i>	노랑범의귀				0
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i>	북극이끼장구채	21.38	26.99	Orthodox	100
Caryophyllaceae	<i>Silene uralensis</i>	북극풍선장구채	21.29	31.7		100
Asteraceae	<i>Taraxacum brachyceras</i>	북극민들레				100

○ 북극 식물 종자 품질 및 저장관리 매뉴얼 작성

- ▷ 종자를 관리하기 위한 절차(종자 수집, 종자 정선, 기초 정보 조사, 활력 검정)에 대한 방법을 작성하였으며, 현장에서 종자 수집 시 데이터 기록을 위한 야장, 종별 정보에 대해 매뉴얼을 작성하였다 (그림 3).

1. 종자수집

1) 야장 작성

수집번호 및 야장 작성

[수집번호]

종자 수집 용기에 작성할 수집번호는 "채집일-채집자-순번" 으로 구성 예시) "240729-JSY-001"

[야장]

작성 항목

작성 항목	작성 방법
수집번호	수집번호 (수집 물품별 다른 수집번호 사용)
수집일	년/월/일
수집자	수집자 성명
국명	식물 국명 기입
학명	식물 학명 기입
수집지 정보	
GPS	위도(N/S), 경도(E/W)
고도	해발고도 (m)
경사	°
방위	경사면 방위를 정북을 기준으로 기입
태양 고도	태양을 정북으로 하여 고도(°) 기입
수집지	
주요 식생	우점종 등 수집대상에 영향을 미칠 것으로 판단되는 식생 기록
교란	산불, 병해충 등 수집 대상의 생육에 위협이 되는 요소 기입
유형	Heath / Dry / Wet / Marsh / Meadow ...
지형	
생육환경 정보	
생육상태	기화 / 결실 초 / 결실 중 / 결실 후
수집위치	식물체 식물체에서 직접 수집
개체군 크기	자연 지면에 떨어진 종자 수집
분포 양상	독립, 독립적, 산발적, 군생, 모여 있음
식물표본	확인 유무
화상자료	수집지 전경, 주변 식생, 대상 식물
기타비고	

No	240806Sce5002	고명	Saxifragaceae	학명	<i>Saxifraga cespitosa</i>	국명	
----	---------------	----	---------------	----	----------------------------	----	--

수집지 정보	2024.08.06	종자 크기	0.002	0.4128
	Erdblen, Longeityen, Seibard	GPS	78°11'88"N	15°45'40.02"E
		종자 중량 (g)	0.0485	

정선방법	사선법 풍선법 중력법 임선법		중력법 및 사선법으로 이물 1 차 제거 후 종자 크기가 매우 작으므로 현이검을 이용한 임선법으로 정선			
수분함량	15.54 %	10.43 %	저장특성	Orthodox	충실률	%

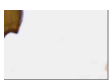
발아검정	온도	광	발아촉진처리	
	25/15 ℃	12/12 hr	H ₂ O = GA ₃	
	H ₂ O: 75% GA ₃ (0.05%): 90%			
TZ 검정	활력도	58 %		비고
	활력 종자		비활력 종자	
				

그림 3. 북극 식물 종자 품질 및 저장 관리 매뉴얼 예시

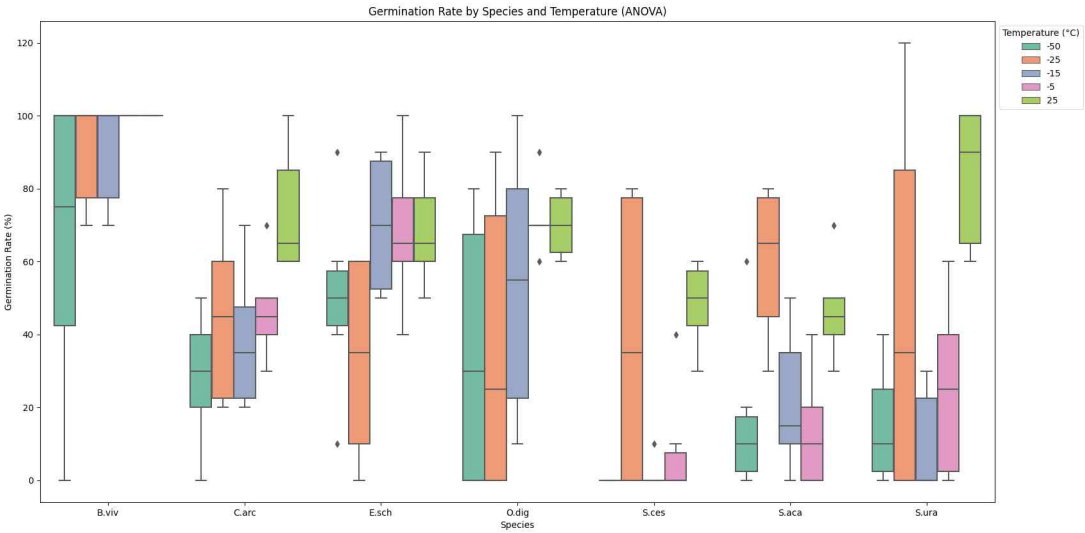
○ 북극 식물 종자 동결 저항성 평가

▷ 건조 종자는 대부분의 온도 조건에서 높은 발아율을 보인 반면, 흡수 종자는 특히 낮은 동결온도에서 발아율이 낮아지는 경향을 보이며, 이는 흡수 상태의 씨앗이 동결 스트레스에 더 민감하다는 것을 의미할 수 있다. 반면에 씨범꼬리(*Bistorta vivipara*), 북극황새풀(*Eriophorum scheuchzeri*)과 북극이끼장구채(*Silene acaulis*)는 낮은 동결온도에서도 상대적으로 높은 발아율을 보였으나, 북극점나도나물(*Cerastium arcticum*), 다발범의귀(*Saxifraga cespitosa*), 북극풍선장구채(*Silene uralensis*)는 낮은 동결온도에서 상대적으로 낮은 발아율을 보였다 (그림 4).. 특히, 북극점나도나물(*Cerastium arcticum*)은 동결로 인한 삼투압 증가로 인해 종피가 팽창되어 내부조직이 노출되어 사멸한 것을 확인할 수 있다 (그림 5).

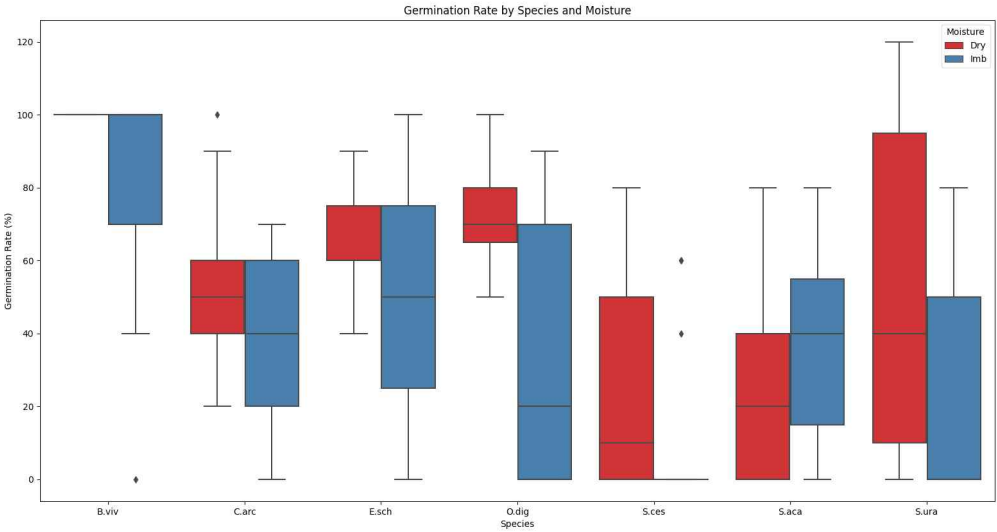
표 2. 종별 발아요구조건 및 발아율

Family	Scientific name	Korean name	Germ [DW]	Germ [GA]
Poaceae	<i>Alopecurus ovatus</i>	북극독새풀	0	10
Polygonaceae	<i>Bistorta vivipara</i>	씨범꼬리	100	100
Ericaceae	<i>Cassiope tetragona</i>	북극종꽃나무	0	0
Caryophyllaceae	<i>Cerastium arcticum</i>	북극점나도나물	5	10
Saxifragaceae	<i>Chrysosplenium tetrandum</i>	북방향금꿩이눈	90	100
Brassicaceae	<i>Cochlearia groenlandica</i>	그린란드고추냉이	60	100
Brassicaceae	<i>Draba alpina</i>	고산꽃다지	0	65
Rosaceae	<i>Dryas octopetala</i>	담자리꽃나무	5	10
Asteraceae	<i>Erigeron humilis</i>	애기개망초	25	65
Cyperaceae	<i>Eriophorum scheuchzeri</i>	북극황새풀	70	90
Juncaceae	<i>Luzula confusa</i>	북극평의밥	45	50
Polygonaceae	<i>Oxyria digyna</i>	나도수영	65	90
Papaveraceae	<i>Papaver dahlianum</i>	스발바르양귀비	10	50
Orobanchaceae	<i>Pedicularis hirsuta</i>	긴털송이풀	0	45
Rosaceae	<i>Potentilla pulchella</i>	다발양지꽃	15	25
Ranunculaceae	<i>Ranunculus sulphureus</i>	유황미나리아재비	0	15
Caryophyllaceae	<i>Sagina nivalis</i>	눈개미자리	0	95
Salicaceae	<i>Salix polaris</i>	북극콩버들	30	30
Saxifragaceae	<i>Saxifraga cespitosa</i>	다발범의귀	75	100
Saxifragaceae	<i>Saxifraga oppositifolia</i>	자주범의귀	15	30
Saxifragaceae	<i>Saxifraga platysepala</i>	노랑범의귀	0	0
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i>	북극이끼장구채	40	95
Caryophyllaceae	<i>Silene uralensis</i>	북극풍선장구채	45	85
Asteraceae	<i>Taraxacum brachyceras</i>	북극민들레	100	100

(a)



(b)



(c)

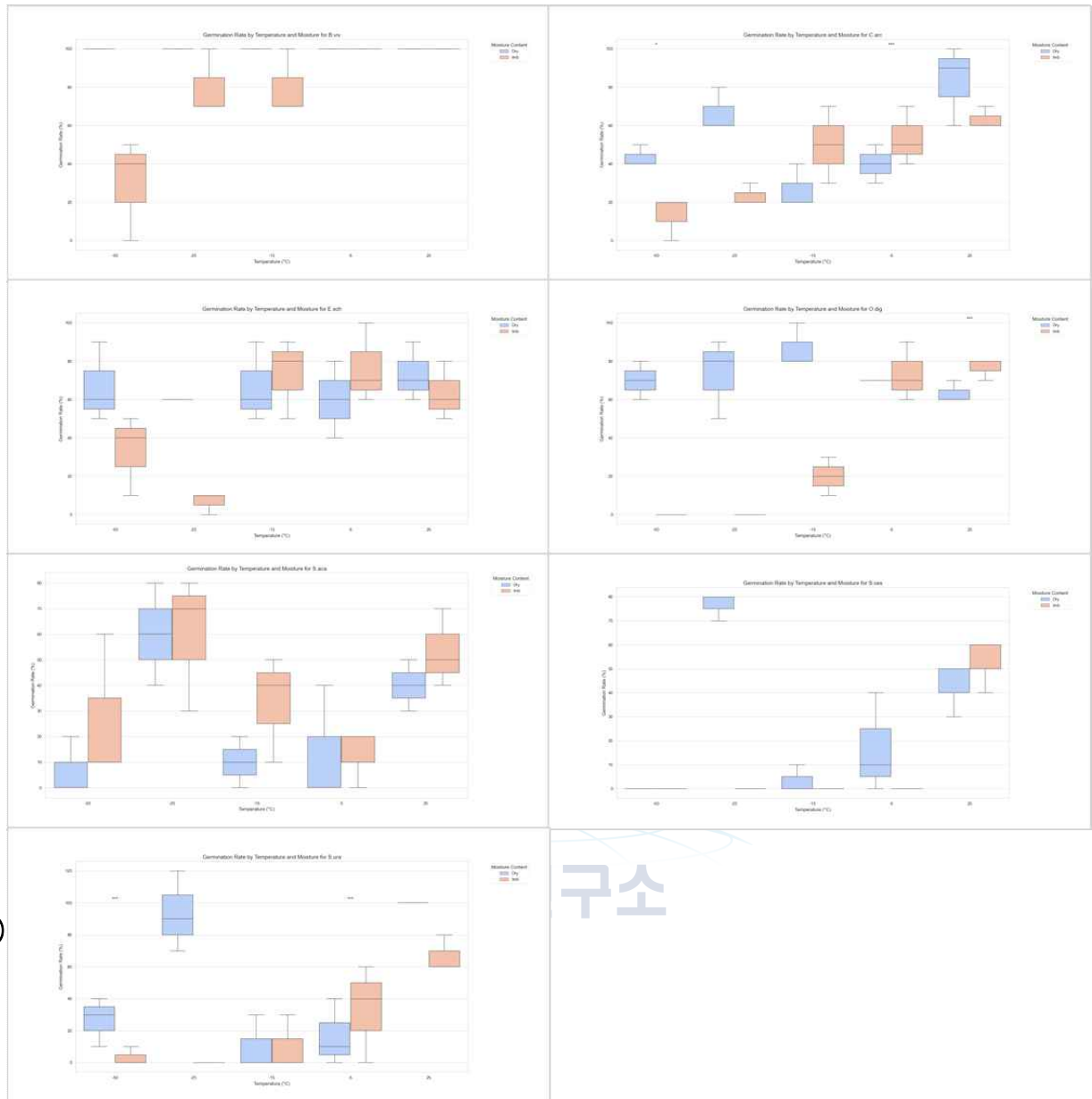


그림 4. 북극 식물 7종에 대한 동결 저항성 평가 결과 동결온도에 대한 종자 발아율(a), 종자 수분함량에 대한 발아율(b), 동결온도 및 수분함량에 따른 발아율(c)



그림 5. 북극점나도나물(*Cerastium arcticum*) 종자의 동결 스트레스로 인한 종피 파열

○ 북극권 국가 간 연구 교류 증진

▷ 노르웨이 트롬쇠 ‘Arctic Frontiers’ 참석 (그림 6.a)

노르웨이 트롬쇠에서 열린 'Arctic Frontiers' 회의에 참석하여, 북극 지역에서의 기후변화 및 생태계 변화에 관한 최신 연구 동향을 파악하고, 다양한 연구자 및 정책 담당자와의 네트워크를 구축하였다. 특히 북극 식물과 관련된 연구 분야에서의 협력 기회를 논의하였으며, 향후 공동 연구 및 정보 교류의 기반을 마련하였다.

▷ 극지신진과학자협회(APECS) - 덴마크 ‘Research Proposal Writing’ 워크샵 참석 (그림 6.b)

덴마크에서 열린 APECS의 ‘Research Proposal Writing’ 워크샵에 참석하여, EU의 연구 제안서 작성 방법에 대해 교육을 받았으며, 덴마크 APECS 회원과의 네트워크를 구축하였다. 워크샵에서는 연구 제안서를 효과적으로 작성하고 제출하는 데 필요한 전략과 기법을 습득할 수 있었다.

▷ 덴마크 코펜하겐대학교 북극식물 종자 연구팀 공동연구 수행 (그림 6.c)

덴마크 코펜하겐대학교의 북극식물 종자 연구팀과 공동연구를 진행하였다. 연구는 북극 식물 종자의 동결 저항성, 발아 조건에 관한 실험을 포함하였다. 실험을 통해 다양한 북극 식물 종자의 발아 특성과 동결 저항성에 대한 기초 데이터를 얻었으며, 북극식물 종자 연구팀뿐만 아니라 덴마크 코펜하겐대학교의 식물과학부서 연구진과의 네트워크를 구축하여 북극 식물 연구에 필요한 지식을 얻었다.

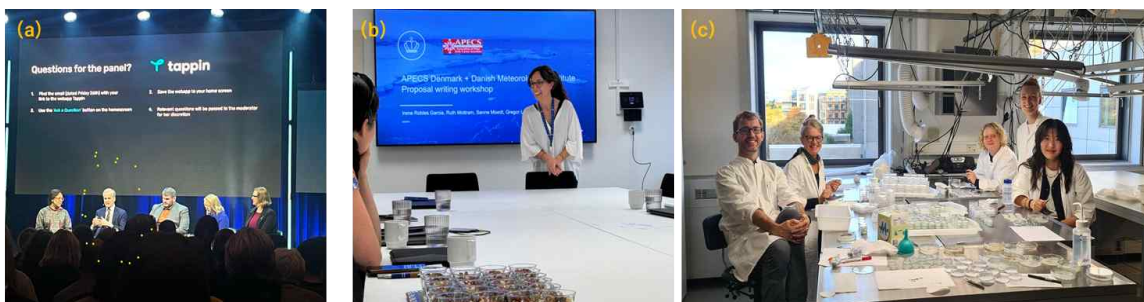


그림 6. 북극권 국가와의 네트워크 활성화 노르웨이 트롬쇠 ‘Arctic Frontiers’ 참석(a), 극지신진과학자협회(APECS)-덴마크 ‘Research Proposal writing’ 워크샵 참석(b), 덴마크 코펜하겐대학교 북극식물 종자 연구팀 공동연구 수행(c)

○ 북극 식물 자원 확보

▷ 스발바르 정부의 스발바르 연구자 포털인 ‘Research in Svalbard’ 에 연구 및 수집 계획서를 제출하여, 허가받은 종자 24종의 북극 식물 종자를 수집하였다(그림 7.a).

▷ 대한민국 농림축산검역본부 고시 제2019-58에 명시된 <재식용 또는 번식용

식물 중 식물검역증명서의 첨부 제외 기준, 승인 절차 및 방법>에 따라, 북극 식물 24종, 55점의 종자에 대해 <검역증명서 첨부 제외 승인 신청서>를 식물검역 온라인 민원 시스템³⁾을 통해 제출하였다. 신청은 국내 반입(입국) 10일 전부터 가능하며, 반입 시 신청 서류를 종자와 함께 동봉하여 공항 내 식물검역소에서 검역을 위해 종자를 제출한다. 검역에는 약 2주가 소요되며, 유해균 및 바이러스가 검출되지 않아 수입 조건에 부합하는 것으로 판명되어 검역합격증명서를 발급받았다 (그림 5.b). 증명서 발급이 완료되면 반입이 허가되어 종자 사용이 가능하다.

(a)



The Governor's decision
The Governor of Svalbard grants Korea Polar Research Institute (KOPRI) att. Seungyeon Jang and Moomkyo Kim permission to conduct fieldwork as described except collecting seeds from Ranunculus Wilanderi and Potentilla Pulchella in Longyearbyen and Ny-Alesund in the period 30.07 - 05.08.2024

The permission is given under the provisions of the Act of 15 June 2001 No. 79 Relating to the Protection of the Environment in Svalbard section 29.

The Governor's permission is granted on the following conditions:

- This permission is only valid for the people included in the project.
- This permission must be brought along during the fieldwork.
- The project shall submit a report from the fieldwork in the RiS database by 01.11.2024.
- All equipment and all waste items are to be removed and brought back. Garbage shall not be burned, except clean untreated wood.
- Species on the Red List must not be collected.

Duty of care
The Governor calls attention to the duty of care in the Svalbard Environmental Protection Act § 5 first sentence, «Any person who is staying in or operates an undertaking in Svalbard shall show due consideration and exercise the caution required to avoid unnecessary damage or disturbance to the natural environment or cultural heritages».

Right to complain
According to Norwegian law you are entitled to complain about the present decision. Written complaints must be submitted within three weeks of receiving this letter. The complaint must be submitted to the Governor of Svalbard.

Regards

Linda Karlstad
Head of Environment Protection
e.f.

Tarald Tesdal Håland
advisor

This document is approved and expedited electronically without signature

(b)

제 10-2423563 호		접수번호 : 24102772 검자번호 : 24432204	
수입 식물 검역 합격 증명서			
수 입 자	성 명	장승연	장 소
	주 소	인천광역시 연수구 송도미래로 26(송도동) R1-514	
수 출 자	성 명		장 소
	주 소		
종 목 명		수 량	비 고
화목종자(기타) 외 26종, 멸종			
적재선(기)명	R201	수출명	휴대
검역일자	2024/10/15 - 2024/10/29	소목명	
위와 식물은 「식물방역법」 제17조제1항과 같은 법 시행규칙 제28조에 따라 수입검역에 합격하였음을 증명합니다. 2024년 10월 29일 농림축산검역본부 인천공항지역본부 식물검역관 강유미 (인)			
* 유의사항 이 증명서는 「식물방역법」에 따른 국제병해충이 없는 사실 확인 외의 목적에는 사용될 수 없습니다. * 도로명주소로 전환되었으나 주소를 변경하시려면 가까운 지역본부로 연락주시기 바랍니다.			

그림 7. 북극 식물 종자 국내 반입을 위한 서류 스발바르 정부로부터 스발바르 식물 종자 수집 허가서(a), 대한민국 농림축산검역본부에서 발급받은 북극식물 종자 검역 합격 증명서(b)

2. 목표달성 수준

성과목표	달성도 (%)	평가 기준	성과
북극 식물 종자 저장성 및 활력 평가	60	북극 식물 종자의 저장 특성 및 활력도 데이터 구축	북극 식물 종자 초기 활력 평가 완료 저장 중으로 내년 상반기 활력 평가 예정
북극 식물 종자 정보 확보 및 온라인 기반 정보 시스템 업데이트	60	북극 식물 종자 데이터 정보시스템에 입력	데이터 베이스 구축 완료
북극 식물 종자 품질 및 저장관리 매뉴얼 개발	70	매뉴얼 작성 및 보고	관리요령 작성 완료. 종별 품질관리 방법 데이터 입

3) <https://www.pqis.go.kr/minwon/index.html>

			력 중
북극 식물 종자 동결 저항성 평가 *	100	동결 저항성 평가 데이터, 동결 저항성 한계점 도출	동결 저항성 평가 프로토콜 작성 완료
북극권 국가 간 연구교류 증진	100	국제협력 네트워크 구축 및 공동연구 수행	노르웨이 트롬소Arctic Frontiers 참석 덴마크 코펜하겐 대학교와 논문 작성 중
북극 식물 자원 확보	100	북극 식물 자원 국내 반입	종자 수집 허가, 북극 식물 종자 24종 국내 반입 완료

* 본 사업의 당초 계획은 노르웨이 트롬쇠대학교와의 공동연구(스발바르 시드볼트에 저장된 북극 식물 종자의 적정 저장 기간 설정)를 수행하는 것이었으나, 해당 기관과의 일정 조율이 어려워 덴마크 코펜하겐대학교와의 공동연구로 변경되었다.

- 북극 식물 종자 정보 확보 및 온라인 기반 정보 시스템 업데이트는 데이터베이스 구축은 완료되었으나, 국제 온라인 데이터 아카이브인 'SeedArc'에 데이터 제공은 아직 완료되지 않아 달성도를 60%로 산정하였다.
- 북극 식물 종자 품질 및 저장관리 매뉴얼 개발은 백두대간수목원 X-ray 장비 문제로 인해 충실한 데이터 확보를 못한 상황으로 해당 측정은 2025년 1월 중으로 측정할 예정이다.

IV. 연구 성과 및 관련 분야 기여도

- 북극 식물 종자에 대한 데이터베이스 구축으로 기초자료 제공
- 북극 식물 종자 국내 반입으로 국내 북극 식물 자원 활용 연구 기반 마련
- 북극 식물 종자 보존과 관리를 위한 가이드라인 제시
- 국제 북극 식물 연구자 네트워크 활성화를 통한 자원 및 전문지식 공유

V. 연구결과의 활용방안

- 데이터베이스 국제 온라인 데이터 아카이브 제공
- 북극 식물 종자 네트워크 구축 (백두대간수목원 및 덴마크 코펜하겐대학교 MOU 협약 추진)
- 북극 식물 종자 품질 및 저장관리 매뉴얼 2025년 발간 예정
- 구축한 데이터를 활용한 북극 식물 종자 동결 저항성 평가에 대해 후속연구 진행 및 학술지 투고 (2025년 상반기 예정)

VI. 참고문헌

- Rantanen, M., Karpechko, A., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., ... & Laaksonen, A. (2021). The Arctic has warmed four times faster than the globe since 1980.
- López-Moreno, J. I., Pomeroy, J. W., Morán-Tejeda, E., Revuelto, J., Navarro-Serrano, F. M., Vidaller, I., & Alonso-González, E. (2021). Changes in the frequency of global high mountain rain-on-snow events due to climate warming. *Environmental Research Letters*, 16(9), 094021.
- Pedersen AØ *et al.* 2022. Five decades of terrestrial and freshwater research in Ny-Alesund, Svalbard: current status and knowledge gaps. *Polar Research* 41:6310.
- 김한우, 박애경. 2020. 북극점나도나물 유래 돌연변이 디하이드린 단백질 및 이의 용도. KR102132276B1.
- 윤호성, 김일섭. 2016. 신규한 극지 미생물 유래 디하이드린 유전자 및 그 용도. KR101645234B1.
- Berner, L. T., & Goetz, S. J. (2022). Satellite observations document trends consistent with a boreal forest biome shift. *Global change biology*, 28(10), 3275-3292.



VII. 주요 연구실적

1. 연구실적 요약

학술지 논문	학회논문	특허 출원	특허 등록	대내외 수상
0 건	0 건	0 건	0 건	0 건

2. 학술지 논문

No.	논문제목	학술지명	저자순	게재연월	국내 /국외	SCI 여부

3. 학회 논문

No.	논문제목	학회명	저자순	게재연월	국내 /국외	발표 유형

4. 특허출원 · 등록

No.	특허명	출원일	등록일	국가명	등록번호	비고

5. 대내 · 외 수상

No.	수상명	수상등급	수여기관	수여일자

VIII. 국외출장 현황

No.	출장기간	출장자	국가	지역	출장목적	학회/행사명	발표제목	연구비 사용여부	
								참가비	여비
1	2024.07.22. - 2024.07.25	장승연	노르웨이	트롬쇠	인천시 교육청 극지 아카데미 프로그램 현장지도	인천시 교육청 극지 아카데미 프로그램			3,667,095
2	2024.07.25. - 2024.08.15	장승연	스발바르	스발바르	종자 수집				
3	2024.08.15. - 2024.10.15	장승연	덴마크	코펜하겐	공동연구 수행				

* 인천시 교육청에서 항공료 지원

IX. 전문가 교류내역

No.	전문가 정보			교류내용	교류일자	비고
	성명	소속	직위			
1	Sergey Rosbakh	덴마크 코펜하겐대학교 PLEN	교수	북극식물에 대한 전반적인 지식 논의 및 동결 저항성 평가 실험 설계 논의	2024.08.15. - 2024.10-15	
2	Ditte Marie Christiansen	덴마크 코펜하겐대학교 PLEN	Postdoc	고산 및 북극식물 역학에 대한 기능적 특성에 대한 논의	2024.08.15. - 2024.10-15	
3	Jacob Weiner	덴마크 코펜하겐대학교 PLEN	교수	식물 생태학에 대한 전반적인 지식 논의	2024.08.15. - 2024.10-15	
	Irene Robles García	덴마크 기상연구소	연구 심사 자문가	EU 자금 연구 계획서 작성법 논의	2024.09.02.	
4	Ragnhild Gya	노르웨이 베르겐대학교	박사후 연구원	기후변화로 인한 툰드라 생태계 변화와 식생데이터 분석 논의	2024.10.01. - 2024.10-02	
5	Anne Bjorkman	스웨덴 예테보리대학교	교수	국제툰드라실험(ITEEX) 연구팀 데이터 활용 및 제공 관련 논의	2024.10.01. - 2024.10-02.	

X. 연구비 집행 현황

세 목	책정금액(A)	집행금액(B)	집행률(B/A)
학생인건비	0	0	0%
연구시설·장비비	0	0	0%
연구재료비	4,850,000	4,591,870	94.68%
연구활동비	11,500,000	7,991,375	69.50%
회의비	150,000	0	0%
간접비	750,000	750,000	100%
합 계	15,750,000	13,333,245	84.66%

XI. 지도교수 의견



뒷 면

주 의

1. 이 보고서는 과학기술연합대학원대학교 (UST)주관으로 극지연구소에서 수행한 Young Scientist Program+ 연구사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 과학기술연합대학원대학교 (UST) 주관으로 극지연구소에서 수행한 Young Scientist Program+ 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

