

프라이밍과 펠릿코팅 소재가 벌개미취 종자의 유묘 출현율에 미치는 영향

강원식¹ · 김민근¹ · 김수영² · 한심희^{3*} · 김두현^{1*}

¹동아대학교 생명자원산업학과, ²국립생물자원관 생물자원활용부, ³국립산림과학원 산림생명자원연구부

Effect of Seed Priming and Pellet Coating Materials on Seedling Emergence of *Aster koraiensis*

Won Sik Kang¹, Min Geun Kim¹, Soo Young Kim²,
Sim Hee Han^{3*} and Du Hyun Kim^{1*}

¹Department of Life Resources Industry, Dong-A University, Busan 49315, Korea

²Department of Biological Resources Utilization, National Institute of Biological Resources,
Incheon 22689, Korea

³Department of Forest Bio-resources, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea

요약: 본 연구는 벌개미취 종자의 대면적 파종 효율성을 증진시키기 위하여, 적절한 종자 전처리 조건과 펠릿코팅 소재를 선정하고자 실시하였다. 벌개미취 종자는 충실종자를 사용하기 위해 1일간 침지처리 후 침강 종자만을 사용하였다. 종자 전처리는 GA₃(200, 500 ppm), 24-epibrassinolide(10⁻⁶, 10⁻⁷, 10⁻⁸ M) 호르몬 처리와 염류삼투프라이밍(100 mM KNO₃) 처리로 구분하였다. 펠릿코팅은 무처리와 프라이밍 처리 종자에 피복물질(DTCS와 DTK)과 접착제(PVA와 CMC)를 적용하여 제작하였다. 종자들은 필터페이퍼, 상토, 사양토 환경에서 파종하여 파종상에 따른 종자 처리 효과를 비교하였다. 필터페이퍼에 파종한 종자의 발아율은 무처리 종자가 41%, 프라이밍 종자가 65%로 가장 높았으며, 호르몬 처리 간 차이는 없었다. 프라이밍과 DTCS/PVA 펠릿 혼용 종자의 발아율은 71%로 가장 높았으며, 프라이밍과 DTK/CMC 펠릿 혼용 종자의 발아율은 42%로 가장 낮았다. 프라이밍 처리 후 펠릿코팅한 종자는 무처리 펠릿코팅 종자보다 발아율, 평균발아일수, 발아속도가 향상되었다. 온실의 상토에 파종한 프라이밍 종자의 발아율은 58%로 가장 높았으며, 평균발아일수는 9.4일, 발아속도는 7.0%·day로 27% 발아율의 무처리 종자보다 높았다. 또한 DTK/PVA 코팅 종자의 발아율(40%)은 무처리 종자의 발아율(27%)보다 높았으며, 무처리 펠릿코팅한 종자의 평균발아일수는 15.0-27.0일로 프라이밍 처리 후 펠릿코팅한 종자보다 길었다. 온실의 사양토에 파종한 무처리 펠릿코팅 종자와 프라이밍 처리 후 펠릿코팅한 종자의 발아율은 모두 1-39%의 범위로 무처리 종자보다 낮았다. 펠릿 소재인 DTK는 DTCS보다 높은 발아율을 보였으며, 무처리 펠릿코팅 종자의 평균발아일수는 15.0-19.8일로 프라이밍 후 펠릿코팅한 종자보다 느렸다. 본 연구 결과를 기준으로, 벌개미취 종자의 프라이밍 전 처리는 유묘 출현율에 매우 효과적이며, 프라이밍과 펠릿코팅을 병행할 경우, 펠릿 소재로는 DTK가 더 적합하였고, 접착제는 PVA와 CMC 간 차이가 크지 않기 때문에 모두 사용이 가능한 것으로 판단되었다.


Abstract: In this study, the effect of seed pre-treatments and pellet coating materials to enhance the efficiency of large-scale propagation of *Aster koraiensis* seeds were investigated. Seeds were immersed in water for one day, and only those that sank were used for pre-treatment to use filled seeds. Pre-treatments were divided into hormone treatments, with gibberellic acid (GA₃; 200 and 500 ppm) and 24-epibrassinolide (10⁻⁶, 10⁻⁷, and 10⁻⁸M), and priming with potassium nitrate (100 mM of KNO₃). To produce pellet-coated seeds, pellet materials (DTCS or DTK) were applied to control (unprimed) and primed seeds with binders (PVA or CMC). The maximum germination percent (GP) of seeds before pellet coating was 65% (with the priming treatment), and there was no difference in the GP of seeds among hormone treatments. For seeds sown in a growth chamber on filter paper, GP was 41% for control

* Corresponding author

E-mail: simhee02@korea.kr, dhkimhort@dau.ac.kr

ORCID

Sim Hee Han  <https://orcid.org/0000-0001-9694-6367>

Du Hyun Kim  <https://orcid.org/0000-0001-6323-3395>

(unprimed/uncoated) seeds, 65% for uncoated primed seeds, 71% for DTCS/PVA-pellet-coated seeds, and 42% for DTK/CMC-pellet-coated seeds. Seeds that were primed first and then pellet-coated showed greatly improved GP, mean germination time (MGT), and germination rate than seeds that were only pellet-coated. For seeds sown in commercial soil in a greenhouse, control seeds had a GP of 27%, whereas primed seeds had the highest GP (58%), and their MGT and GT were 9.4 days and 7.0%·day, respectively. In addition, DTK/PVA-pellet-coated seeds (40%) also had a GP higher than the control (27%), and their MGT was 15–27 days. For seeds sown in sandy-loam soil in a greenhouse, unprimed-pellet-coated seeds and primed-pellet-coated seeds both had GPs ranged of 39%, which were lower than that of control seeds. In general, the seeds that were pellet-coated with DTK had a higher GP than those pellet-coated with DTCS. Furthermore, the MGT of unprimed-pellet-coated seeds was 15.0–19.8 days, which was longer than the MGT of primed-pellet-coated seeds. These results suggest that priming enhances seedling emergence of *Aster koraiensis* seeds. Moreover, when priming is combined with pellet coating, DTK is a more suitable pellet material than DTCS, and PVA and CMC are equally suitable adhesives.

Key words: seed pellet coating, seed priming, germination characteristics, *Aster koraiensis*

서 론

우리나라에는 약 4,700여종의 자생식물이 있는 것으로 알려져 있으며, 이들을 화훼 및 조경용 소재로 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 자생식물들은 자연 환경에 잘 어울리고, 생태적으로 잘 적응할 수 있는 특징이 있어, 환경, 농업, 의학, 신소재 등 다양한 분야에서 이용 가능성을 평가 받고 있다(Nam et al., 2015).

벌개미취(*Aster koraiensis* Nakai)는 국화과(Compositae) 참취속의 한국 특산 속근초로 경관용 또는 지피용으로 수요가 많으며, 어린 잎은 식용이 가능하고, 최근에는 향산화 활성, 항비만, 고지혈증 예방, 당뇨병성 백내장의 발병 지연, 토양 내 중금속 흡수 등의 기능성 자원으로 보고되었다(Lee, 2003; Kim et al., 2009; Ju et al., 2011; Shin and Park, 2014; Nam et al., 2015).

그러나 벌개미취의 종자는 무게가 가볍고 크기가 작아서, 대면적 식재를 위한 직파에 많은 량의 종자가 소요되며, 파종 밀도도 불균일하고, 종자 발아 후에 식물체의 품질도 떨어진다. 이것은 많은 소립종자 식물에서 공통적으로 나타나는 문제점이다. 이를 해결하기 위하여, 종자 발아에 영향을 미치지 않는 불활성 물질을 소립 종자의 표면에 코팅하여 그 크기를 임의로 조절한 후 파종하는 기술을 개발하고 있다.

펠렛 코팅은 광물질 등의 피복 물질(filler)을 접착제(binder)와 함께 종자 표면에 부착시켜 종자의 크기를 증가시키는 가공 기술이다. 이것은 종자의 크기가 작거나 가벼운 종자의 파종 효율과 유묘 출현율을 향상시키는 장점이 있다. 펠렛 코팅 종자의 발아율은 펠렛의 형태, 정도, 크기, 피복 물질의 조성 등에 영향을 받으며, 토양의 수분 환경에 따라 발아 효율이 달라지기 때문에, 높은 기술력이 요구된다(Grellier et al., 1999). 따라서 펠렛 피복 물질이 쉽게 부서지지 않는 일정한 경도를 유지하면

서, 시실재배, 노지재배, 임간재배 등 다양한 토양 수분 환경에서도 잘 녹거나 종자 발아가 원활히 진행되도록 하는 것이 중요하다. 즉, 종자의 특성과 파종 장소의 토양 수분 환경에 적합한 펠렛 피복 물질을 개발하는 것이 절실히 요구된다.

현재 종자 코팅 기술은 전세계적으로 10억달러(USD)의 시장을 형성하고 있고, 민간 기업들이 주도하여 식량 및 채소작물을 주 대상으로 연구 개발이 진행되어 상용화되고 있다. 그러나 종자 가공 처리의 원천 기술을 보유하고 있는 세계 다국적 주요 종자회사들이 기술의 유출을 막고 있어, 펠렛 물질 등의 세부 기술에 대한 정보가 매우 제한적이다. 국내 종자 가공 시장의 규모는 약 17만 불로 세계 시장 규모의 약 0.3% 수준에 불과하며, 규모가 영세하여 핵심기술인 가공 원자재를 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 관련 연구기관 및 학계와의 협업 연구를 통해 신 기술 개발이 절실히 요구되는 분야이다(Pedrini et al., 2017).

생태복원분야는 농작물 분야 외에 종자 코팅 기술이 가장 활발히 적용될 수 있는 영역이다. UN의 지구복원사업 추진으로 생태복원이 진행되고 있으나, 복원에 사용되는 야생 종자는 자연 환경에서 유묘 출현율이 10% 미만으로 매우 적은 것으로 보고하고 있다. 또한, 종자의 낮은 가용성, 고비용, 낮은 유묘 출현율은 야생 종자의 사용에 심각한 한계를 초래하고 있어, 야생 종자의 이용 효율을 증진시키기 위한 가공 기술의 필요성이 크게 대두되었다. 최근까지 낮은 토양 온도와 같은 불리한 자연 환경에서 종자 발아가 저해되는 것을 막기 위해 종자 코팅을 활용하는 등의 활용도 높은 코팅 기술 개발이 많이 연구되어 왔다(Gesch, et al., 2012).

또한, 종자의 발아에 필요한 대사 과정을 유도하여 발아 직전의 상태에서 종자를 재 건조시키는 종자 프라이밍(priming) 처리는 건조 상태로 종자 보관이 가능하고, 상시

파종이 가능하며, 균일하고 빠르게 유묘 출현율을 향상시키는 효율적인 방법으로 제시되고 있다(Taylor et al., 1998). 특히 빠른 유묘 출현율은 야생에서 잡초와 경합하는 별개미취와 같은 지피용 식물에게는 큰 장점이 될 수 있다. 또한 종자 프라이밍 처리 기술은 현지 외 저장 유전자원의 증식 등에서 매우 이용성이 높은 분야로, 분자생물학, 생물정보학 등 다양한 연구 분야를 접목하여 적용 분야를 넓힐 필요성이 제기되고 있다(Paparella et al., 2015).

육종을 통해 종자의 품질을 유지하는 작물과는 달리, 별개미취는 야생 종자를 그대로 사용하기 때문에, 종자 발아율이 최적 환경에서는 70%, 저온에서는 30%로 매우 낮다(Kim et al., 2010). 따라서 야생식물 재료의 이용성을 높이기 위해서, 종자 코팅과 프라이밍 처리 기술과 같이 종자의 활력을 높이고, 발아율을 균일하게 유지할 수 있는 전 처리 기술 개발이 필요하다.

본 연구는 생태 복원 재료로 이용 가능한 소립 경량 별개미취 종자를 대상으로, 가장 적절한 종자의 전처리 조건, 펠릿 코팅 소재의 선정 및 서로 다른 발아 환경에서 처리 종자의 발아 특성을 평가하여, 대면적 파종 시 종자의 파종 효율 증진과 현장 적용 효율을 높이기 위해서 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시 재료 및 특성

별개미취(*Aster koraiensis* Nakai) 종자는 국립생물자원관으로부터 분양 받았으며(NIBRGR0000170250, 2014년 12월 경기도 수집), 분양 받은 종자는 실험에 사용하기 전까지 밀봉 상태로 4°C에 보관하였다. 종자의 기초 특성으로 종자의 형태적 특성(길이, 너비, 무게)과 종자의 충실도 및 발아 특성을 조사하였다. 충실 종자를 얻기 위하여 25°C에서 24시간 동안 종자를 물에 침지하여 가라앉은 침강 종자만을 실험에 사용하였다.

2. 호르몬 및 프라이밍 전처리

별개미취 종자의 발아특성 향상을 위하여, 식물호르몬 전 처리를 다음과 같은 조건에서 실시하였다. 식물호르몬 전 처리는 GA₃ 200, 500 ppm 용액과 24-epibrassinolide

(24-EBL) 10⁻⁶, 10⁻⁷, 10⁻⁸M 용액에 각각 종자를 넣고, 20°C에서 100 rpm 속도로 1일간 회전 처리를 통해 수행되었다. 염류 삼투 프라이밍 처리는 15°C에서 KNO₃ 100 mM 용액에 종자를 넣고, 3일 동안 산소 처리와 함께 수행되었다. 전 처리가 끝난 종자는 흐르는 물에 충분히 씻은 후, 송풍기에서 8%의 수분 함량으로 건조한 후, 4°C 냉장고에 보관하여 실험에 사용하였다.

3. 종자 프라이밍과 펠릿 코팅의 복합처리

종자의 발아 특성을 증진시키기 위한 복합 처리 효과는 전 처리를 하지 않은 무처리 종자와 KNO₃를 이용하여 염류 삼투 프라이밍 처리를 실시한 종자를 각각 펠릿 코팅한 후 발아 특성을 분석하였다.

종자 펠릿 코팅은 피복 물질과 접착제를 각각 2종씩 혼용하여 실시하였다. 펠릿 피복물질은 DTCS (diatomite, talc, CaCO₃, starch 혼용 분말)와 DTK (diatomite, talc, kaolin 혼용분말)를 사용하였고, 접착제는 polyvinyl alcohol (PVA 500 5%)와 carboxymethyl cellulose (CMC 0.5%)를 사용하였다. 펠릿 코팅은 회전식 펠릿 장비를 이용하여 실시하였다. 복합처리가 끝난 종자는 25°C에서 송풍기로 급속 건조한 후 실험에 이용하였다.

4. 종자 발아특성 조사

무처리 종자와 호르몬 및 프라이밍 전 처리 종자는 발아 용기 안에 필터페이퍼를 2장 깔고, 25립씩 4반복으로 파종하여, 성장상에 배치한 후 최적 조건인 25°C 12 h 광 조건과 20°C 12 h 암 조건으로 설정하고, 14일간 매일 발아 검사를 실시하였다.

복합 처리된 종자는 성장상-필터페이퍼, 온실-상토, 온실-사양토의 세 가지 서로 다른 환경에 파종한 후, 발아 특성을 조사하였다. 복합 처리 종자는 발아 용기 안에 필터페이퍼를 2장 깔고, 25립씩 4반복으로 파종한 후, 최적 조건인 25°C 12 h 광 조건과 20°C 12 h 암 조건인 성장상에 배치하고, 14일간 매일 발아 조사를 실시하였다. 또한 복합 처리 종자는 플러그 트레이(plug tray)에 상토(홍농, 상토 2호)와 사양토에 각각 파종하고, 31±3°C/20±2°C(낮/밤)의 온실에 배치한 후, 14일간 매일 발아 조사를 실시하였다. 실험에 사용된 사양토의 물리화학적 특성은 Table 1과 같았다.

Table 1. Physicochemical properties of sandy loam soil that used in this experiment.

pH	EC	T-N	O.M	Av.P ₂ O ₅	Exchangeable cation			Particle size distribution			Soil type
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sand	Silt	Clay	
(1:5)	(dS m ⁻¹)	(%)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(cmol _c kg ⁻¹)			-----(%)----			
6.9	1.9	0.03	13.59	802	1.05	8.24	1.14	54.3	37.4	8.3	sandy loam

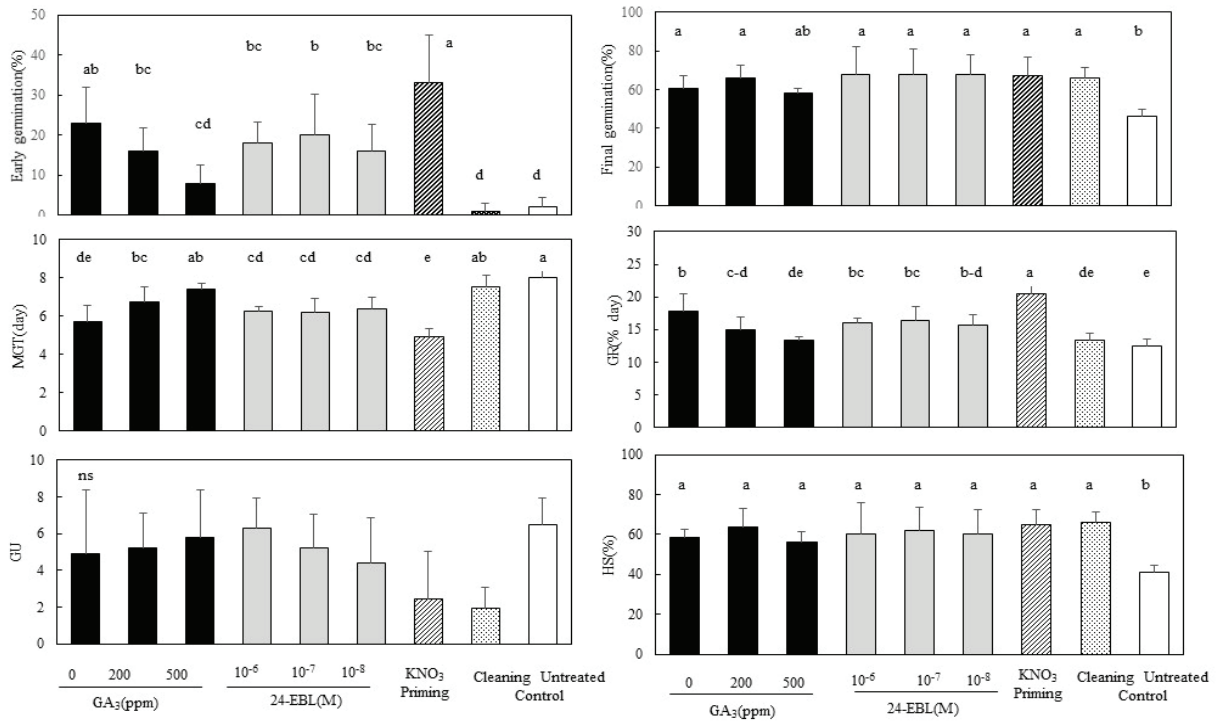


Figure 1. Effects of seed cleaning, GA₃, 24-EBL and KNO₃ priming treatments on germination of *Aster koraiensis*. All the values are mean of four replicates ± standard deviation (SD). The same letters are not significantly different at the 5% probability level by the Duncan's multiple range tests.

종자들의 발아 특성을 분석하기 위하여, 발아율(germination percentage, GP), 평균발아일수(mean germination time, MGT), 발아속도(germination rate, GR), 발아균일성(germination uniformity, GU)을 계산하였다. 발아율(GP)은 총 파종한 종자 중 발아된 종자의 백분율 값이고, 발아속도(GR)는 하루에 발아될 수 있는 발아율로 값이 높을수록 종자 활력이 높은 것을 의미한다. 평균발아일수(MGT)는 발아율에 도달하는데 소요되는 일수로 값이 낮을수록 발아 특성이 좋은 것을 의미한다. 발아균일도(GU)는 종자가 동시에 발아되는 균일도를 측정된 값으로, 하루 만에 모두 발아될 때 1.0으로 가장 좋은 값이고, GU 값이 커질수록 균일성이 낮아짐을 의미하는데, 발아율이 낮은 종자가 하루에 모두 발아되어도 -1.0이 되므로 다른 지수와 비교하여 종합적으로 평가하였다. 건묘율(healthy seedling, HS %)은 총 파종한 종자 중 정상묘로 발육할 수 있다고 판단되는 유묘의 백분율 값이다.

5. 통계처리

처리간 처리 효과를 확인하기 위해서 SAS(SAS institute Inc. USA) 프로그램을 이용하였다. 종자의 호르몬 및 프라이밍 전처리 효과를 파악하기 위하여, GLM을 이용하여 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하고, 처

리 간 차이는 Duncan의 다중검정을 이용하였다. 또한, 프라이밍과 펠렛 소재의 복합처리에 따른 발아 특성을 비교하기 위하여, 프라이밍 처리 유무, 펠렛 소재 종류 및 파종 환경에 따른 요인 분석을 실시하였다.

결 과

1. 종자의 형태적 특성 및 수선 처리 효과

별개미취 종자의 평균 길이는 3.8±0.3mm, 폭은 1.8±0.3 mm, 천립중은 0.0987 g이었으며, 무처리 종자의 충실률은 62%, 발아율은 34±11%, CV값은 31%였다. 물에 침지하는 수선처리로 비립 및 불충실 종자를 제거하고, 발아율이 향상되고 품질이 균일한 종자를 확보하여 펠렛 코팅에 사용하고자 1일 침지 처리를 실시한 결과, 부유 종자의 비율은 26%이었고, 부유 종자 중 65%는 비립, 35%는 불충실 손상립이었다. 정선을 거친 후, 종자 발아율은 무처리 종자의 발아율보다 2배 정도 높은 66%를 보였다(Figure 1).

2. 호르몬 및 프라이밍 전처리 효과

별개미취 종자의 활력 증진을 위한 호르몬 처리 및 프라이밍 처리 결과는 Figure 1과 같았다. 파종 4일차의 초

Table 2. Effects of priming treatment, pellet coating and sowing substrate on seed germination of *Aster koraiensis*.

Source	df	F value			
		GP	MGT	GR	GU
Priming (Pr)	1	67.8***	12.02***	31.51***	0.58 ^{ns}
Pellet coating (Pe)	4	27.48***	30.01***	77.41***	4.50**
Substrate (S)	2	74.9***	53.52***	104.4***	3.82*
Pr × Pe	4	3.06*	1.59 ^{ns}	9.39***	1.84 ^{ns}
Pe × S	8	10.64***	5.49***	14.63***	1.46 ^{ns}
Pr × S	2	10.97***	3.31*	12.44***	1.89 ^{ns}
Pr × Pe × S	8	0.56 ^{ns}	1.32 ^{ns}	0.04 ^{ns}	1.38 ^{ns}

ns, *, ** and *** are non-significant or significant at $P < 0.05$, 0.01 or 0.001 , respectively.

Table 3. Effect of seed pretreatment and pellet material on germination of pelleted seeds in incubator.

Seed pretreatment	Pellet material	Binder	GP (%)	MGT (day)	GR (%·day)	GU				
Untreated	non-pelleted		41±7	d	7.4±0.4	d	6.4±1.1	b	7.3±2.6	a
		DTCS ^z	PVA	44±7	cd	15.4±2.9	a	3.2±0.2	cd	22.2±13.8
	DTCS ^z	CMC	38±20	d	11.2±1.4	bc	3.9±2.4	cd	12.9±12.4	a
		PVA	36±12	d	13.4±1.5	ab	2.9±1.1	d	9.1±5.1	a
		CMC	41±10	d	14.6±1.2	a	3.0±0.6	cd	20.2±9.7	a
		DTK ^y	CMC	41±10	d	14.6±1.2	a	3.0±0.6	cd	20.2±9.7
Primed ^x	non-pelleted		65±11	ab	5.4±0.6	d	16.5±2.8	a	13.4±10.2	a
		DTCS	PVA	71±8	a	12.2±1.2	bc	6.5±0.5	b	16.1±6.3
	DTCS	CMC	49±7	bcd	10.6±1.6	c	5.2±1.1	bc	10.2±9.7	a
		PVA	60±13	abc	10.6±1.3	c	6.4±0.8	b	13.2±3.0	a
		CMC	42±8	d	10.3±1.7	c	4.6±1.3	bcd	6.0±1.5	a
		DTK	CMC	42±8	d	10.3±1.7	c	4.6±1.3	bcd	6.0±1.5

^zDTCS(diatomite, talc, CaCO₃, starch) mixed powder.

^yDTK(diatomite, talc, kaolin) mixed powder.

^xPrimed with 100mM KNO₃ for 3 days at 15°C.

Mean values in a column with a different letter are significantly different at $P = 0.05$ by Duncan's multiple range tests.

기 발아율은 KNO₃를 이용한 염류 삼투 프라이밍 처리 종자가 가장 높은 33%로서 무처리 종자의 2%보다 31% 높았으며, 처리간 차이가 뚜렷하였다(Figure 1, $P < 0.05$). 파종 14일차의 최종 발아율은 무처리 종자가 46%, 수선 종자가 66%이었으며, 프라이밍 처리 종자는 67%로 가장 높았다. 호르몬 처리와 프라이밍 처리간 종자의 발아율은 차이가 없었으나, GA₃ 500 ppm 처리에서 가장 낮은 발아율을 보였다.

평균발아소요일수(mean germination time, MGT)는 무처리 종자가 8.0일로 가장 길었으나, 프라이밍 처리 종자는 4.9일로 무처리 종자보다 3.1일이 단축되었고, GA₃와 24-EBL 처리 종자는 무처리 종자보다 0.8-2.5일이 단축되었다. 평균발아속도(GR)는 프라이밍 처리 종자가 20.5%·day로 무처리 종자의 12.6%·day보다 크게 향상되었고, 발아균일도는 처리에 따른 차이를 보이지 않았다.

건묘율(healthy seedling, HS%)은 프라이밍 처리 종자가 65%로 무처리 종자의 41%에 비해 24%가 높았으며, 24-EBL 10⁻⁶ M, 10⁻⁷ M, 10⁻⁸ M의 건묘율도 60-62%로 무처리 종자에 비해 크게 향상된 결과를 보였다(Figure 1).

3. 프라이밍 전처리와 펠릿 코팅된 종자의 성장상 내 발아 특성

프라이밍 처리, 펠릿 코팅, 파종 환경의 3가지 요인이 벌개미취의 발아 특성에 미치는 영향을 분석한 결과는 Table 2와 같았다. 종자의 발아율, 평균발아일수 및 발아속도는 프라이밍 처리, 펠릿 코팅 소재, 파종 환경에 따라 뚜렷한 차이를 보였으나, 발아 균일도는 프라이밍 처리에 따른 차이가 나타나지 않았다(Table 2).

프라이밍 처리 후 펠릿 코팅한 종자를 필터페이퍼에 파종하여 얻은 발아 특성 결과는 Table 3과 같았다. 무처

Table 4. Effect of seed pretreatment and pellet material on germination of pelleted seed in commercial soil.

Seed pretreatment	Pellet material	Binder	GP (%)		MGT (day)		GR (%·day)		GU	
Untreated	non-pelleted		27±8.9	bcd	12.1±1.4	de	2.3±0.6	b	8.2±11.2	bc
	DTCS ^z	PVA	2±4	ef	20.5±10.3	b	0.1±0.2	d	41.3±0.1	a
		CMC	1±2	f	27.0±13.5	a	0.04±0.1	d	-1.0±0.1	c
	DTK ^y	PVA	13±8.2	def	16.0±1.8	c	0.8±0.5	cd	7.3±8.7	bc
		CMC	20±15.0	bcd	15.0±7.5	cd	1.4±1.0	bcd	5.4±3.9	bc
	Primed ^x	non-pelleted		58±13.3	a	9.4±1.3	e	7.0±2.0	a	12.2±11.0
DTCS		PVA	34±17.7	bc	15.9±0.9	c	2.3±1.2	bc	21.6±5.1	b
		CMC	15±10.0	def	20.2±2.9	b	0.8±0.7	cd	6.5±10.2	bc
DTK		PVA	40±10.3	b	15.9±1.3	c	2.8±0.9	b	18.5±7.6	bc
		CMC	37±15.4	bc	14.8±1.3	cd	2.7±1.1	b	13.9±12.3	bc

^zDTCS(diatomite, talc, CaCO₃, starch) mixed powder.

^yDTK(diatomite, talc, kaolin) mixed powder.

^xPrimed with 100mM KNO₃ for 3 days at 15°C.

Mean values in a column with a different letter are significantly different at $P = 0.05$ by Duncan's multiple range tests.

리 종자의 발아율은 41%이었으나, 프라이밍 종자의 발아율은 65%였다. 펠렛 코팅 종자의 발아율은 36-71%였으며, 펠렛 코팅 조건에 따라 발아율 차이가 뚜렷하였다 (Table 3, $P < 0.05$). 전처리 없이 코팅 처리한 종자의 발아율은 펠렛 물질이나 접착제간 차이가 없었으나, 전처리 후 코팅 처리한 종자의 발아율은 펠렛 물질과 접착제에 따라 차이가 크게 나타났다. 즉, 펠렛 물질 DTCS와 접착제 PVA를 이용한 코팅에서 가장 높은 발아율인 71%를 얻었으며, 펠렛 물질 DTK와 접착제 CMC를 이용한 코팅 종자의 발아율은 42%로 가장 낮았다.

평균발아일수는 프라이밍 종자가 5.4일로 가장 빨랐으며, 무처리 종자는 7.4일이었다. 펠렛 코팅 종자는 프라이밍 전처리가 없는 경우 11.2-15.4일, 프라이밍 처리 후 코팅한 경우 10.3-12.2일로 대조구보다 뚜렷하게 발아가 늦어졌다.

발아속도(GR)는 무처리 종자가 6.4%·day, 프라이밍 전처리 종자가 16.5%·day로 펠렛 코팅한 종자의 2.9-3.9%·day 보다 빨랐다. 프라이밍 처리 후 코팅한 종자의 발아속도는 4.6-6.5%·day로 무처리 종자와 유사한 수준을 유지하였다. 즉, 프라이밍 처리 후 펠렛 코팅한 종자는 프라이밍 없이 펠렛 코팅한 종자보다 발아율, 평균발아일수, 발아속도가 크게 향상되었다. 또한, 프라이밍 처리한 후 펠렛 코팅한 종자의 경우, DTCS와 PVA 펠렛 소재를 사용한 종자의 발아율과 발아속도가 각각 71%·day와 6.5%·day로 무처리 종자의 발아율 41%보다 높았고, 무처리 종자의 발아속도 6.4%·day와 유사한 수준이었다. 접착제의 경우, PVA가 CMC를 사용한 코팅 종자보다 발아율이 높았다(Table 3).

4. 프라이밍 전처리와 펠렛 코팅된 종자의 온실 상토에서의 발아 특성

온실 상토에 파종한 무처리 종자의 발아율은 30%, 평균발아일수는 12.4일, 발아속도는 2.8%·day이었다. 프라이밍 처리 종자의 발아율은 가장 높은 58%, 평균발아일수는 9.5일, 발아속도는 7.0%·day로 무처리 종자보다 높았다(Table 4).

프라이밍 처리 없이 펠렛 코팅을 실시한 종자의 발아율은 4-27%로 무처리보다 낮았으나, 프라이밍 처리 후 펠렛 코팅한 종자는 15-40%의 발아율을 보이며, 무처리 종자보다 높은 결과를 보였다. 즉, 펠렛 소재는 DTK/PVA 펠렛 코팅 종자가 무처리 종자보다 높은 발아율인 40%를 나타냈다(Table 4). 평균발아일수는 무처리 종자가 12.4일, 프라이밍 처리 종자가 9.5일로 가장 빨랐으며, 펠렛 코팅 종자의 평균발아일수는 무처리와 프라이밍 처리 종자보다 길었다. 특히, 프라이밍 처리 없이 펠렛 코팅한 종자의 평균발아일수는 15.0-27.0일로 프라이밍 처리 후 코팅한 종자의 14.9-20.2일보다 길었다. 발아속도는 프라이밍 처리 종자가 7.0%·day로 가장 빨랐으며, 펠렛 코팅 종자들은 모두 발아속도가 느려졌다. 프라이밍 처리 없이 코팅한 종자의 경우, 발아속도가 0.1-1.8%·day로 프라이밍 처리 후 코팅한 종자의 0.9-2.8%·day보다 느렸다. 프라이밍 처리 후 DTK/PVA로 코팅한 종자의 발아속도는 무처리 종자의 2.8%·day와 유사한 수준이었다. 발아균일도는 펠렛 코팅 소재에 따라 차이가 있었지만, 발아율과 연계된 특별한 경향을 찾을 수는 없었다.

Table 5. Effect of seed pretreatment and pellet material on germination of pelleted seed in sandy loam.

Seed pretreatment	Pellet material	Binder	GP(%)	MGT(day)	GR(%·day)	GU				
Untreated	non-pelleted		41±11.5	b	13.6±1.2	ab	3.2±0.9	b	11.0±13.1	a
		DTCS ^z	PVA	1±2.0	c	15.0±7.5	ab	0.1±0.1	d	-1.0±0.5
	DTCS	CMC	6±2.3	c	19.8±6.4	a	0.3±0.2	d	-0.9±0.1	a
		DTK ^y	PVA	30±11.5	b	18.0±2.6	a	1.7±0.7	c	7.0±6.3
	DTK	CMC	39±6.8	b	18.3±1.3	a	2.2±0.4	c	13.7±6.1	a
		non-pelleted		50±4.0	a	9.9±0.8	b	5.4±0.3	a	6.9±6.3
Primed ^x	DTCS	PVA	1±2.0	c	13.0±6.5	ab	0.1±0.2	d	-1.0±0.5	a
		CMC	7±2.0	c	17.9±6.5	a	0.5±0.3	d	6.6±9.4	a
	DTK	PVA	38±8.3	b	16.8±1.1	ab	2.4±0.4	c	14.2±6.5	a
		CMC	39±8.9	b	17.2±0.7	a	2.4±0.6	c	9.3±7.0	a

^zDTCS(diatomite, talc, CaCO₃, starch) mixed powder.

^yDTK(diatomite, talc, kaolin) mixed powder.

^xPrimed with 100mM KNO₃ for 3 days at 15°C.

Mean values in a column with a different letter are significantly different at *P* = 0.05 by Duncan's multiple range tests.

5. 프라이밍 전처리와 펠릿 코팅된 종자의 온실 사양토에서 발아 특성

온실 사양토에 파종한 무처리 종자의 발아율은 55%, 평균발아일수는 12.7일, 발아속도는 4.8% · day이었으며, 프라이밍 처리 종자의 발아율은 50%, 평균발아일수는 9.9일, 발아속도는 5.4% · day로 평균발아일수와 발아속도는 무처리보다 개선되었다. 프라이밍 처리 없이 펠릿 코팅한 종자와 프라이밍 처리 후 펠릿 코팅한 후 사양토에 파종한 종자의 발아율은 각각 1-39%, 1-39%로 모두 무처리보다 낮았으며, 이 두 처리간의 차이는 없었다. 펠릿 소재간 비교 결과, DTK가 DTCS 보다 높은 발아율을 보였으며, PVA보다 CMC가 높은 발아율을 나타냈다(Table 5). 평균발아일수는 프라이밍 처리 종자가 9.9일로 무처리 종자 12.7일보다 빨랐으며, 펠릿 코팅 종자의 평균발아일수는 무처리와 프라이밍 처리 종자보다 모두 길었다. 특히, 프라이밍 처리 없이 펠릿 코팅한 종자의 평균발아일수는 15.0-19.8일로 프라이밍 처리 후 코팅한 종자의 13.0-17.9일보다 길었다. 발아속도는 프라이밍 처리 종자가 5.4%로 가장 빨랐으며, 무처리 종자는 4.8% · day로 프라이밍 처리보다 느렸으나, 펠릿 코팅 종자들보다는 빨랐다. 프라이밍 처리 없이 코팅한 종자의 발아속도는 0.3-2.2% · day로 프라이밍 처리 후 코팅한 종자의 0.3-2.4% · day보다 느렸다. 발아 균일도는 상토에 파종한 종자와 마찬가지로 펠릿 코팅 소재에 따라 차이가 있었지만, 발아율과 연계된 특별한 경향을 찾을 수는 없었다.

고 찰

본 연구 결과에서, 벌개미취 종자를 물에 침지하여 정선하는 수선방법, GA₃, 24-EBL 전 처리와 프라이밍 처리는 초기 종자 발아율과 발아 속도를 향상시키는 결과를 보여주었다. 식물호르몬 전처리 방법은 처리 기간이 1일로 단기간 처리의 이점이 있었고, 염류 삼투 프라이밍은 비용 측면에서 식물호르몬 처리보다 저렴하나 3일 정도의 처리 기간이 소요된다는 단점이 있다. GA₃은 종자 발아 과정에서 중요한 역할을 하는 식물호르몬으로, *Schoenia filifolia* 종자의 휴면을 타파하였고, GA₃와 GA₄₊₇처리로 12°C에서 벌개미취 종자의 발아율을 30-40%까지 향상시켰다는 보고가 있다(Peishi et al., 1999; Kim et al., 2010). 24-Epibrassinolide (24-EBL)는 브라시노스테로이드에 속하는 호르몬으로, 애기장대 등 많은 식물 종자에서 나노몰(nM) 또는 마이크로 몰(μM) 수준의 농도에서도 종자의 발아나 유묘 성장과 발달에 지베렐린과 유사한 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다(Tanaka et al., 2003; Nomura et al., 2007; Divi and Krishna, 2010; Fridman and Savaldi-Goldstein, 2013; Da Silva et al., 2015).

본 연구에서는 GA₃와 24-EBL 처리가 물에 침지하는 수선처리 보다 최종 종자 발아율에서 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나, 평균발아일수와 발아속도에서는 뚜렷한 효과를 보여 주었다(Figure 1). 그러나 최적 환경 조건이 아닌 저온이나 염류와 같은 스트레스 조건에서는 호르몬을 이용한 종자 전 처리의 효과가 더욱 뚜렷한 것으로 보

고되고 있다(Kim et al., 2010; Wang et al., 2011; Yusuf et al., 2012). 즉, 본 연구의 재료를 이용하여 대면적 파종을 실시하는 대상 지역의 환경은 종자가 발아하기 위한 최적 조건을 만들어 줄 수 없기 때문에 호르몬 전 처리의 효과가 크게 나타날 것으로 판단된다.

펠렛 코팅 종자의 발아는 피복 소재의 입자 결합력과 접착 소재의 종류에 따라 차이가 많다(Millier and Bensin, 1974). 이전의 연구에서, 펠렛 코팅 종자는 피복 물질이 부착되면서 종자의 물 흡수와 산소 이용이 저해되어 발아율이 감소된다는 보고가 있었다(Baxter et al., 1986; Klein et al., 1992). 펠렛 코팅의 두께와 성분은 배유에 존재하는 저장 탄수화물의 이동 효율성과 발아율에 영향을 미치는데, 귀리와 밀의 경우, 친수성 수분흡수제 성분의 코팅 종자의 발아속도와 총 발아율은 감소하였으나, 유묘 생장은 촉진되었다(Gorim and Asch, 2017). 따라서 펠렛 코팅의 실용적 이용을 위해서는 가격이 저렴하고 작업이 용이하며, 토양 환경에 친화적인 펠렛 소재(피복소재와 접착소재)를 선정해야 한다. 벧지(*Vicia villosa*)의 펠렛 코팅 종자 발아율은 diatomite/methyl cellylose와 gum arabica 피복 소재에서 향상된 결과를 보였으나(Hirota, 1972), diatomite/CMC를 가지고 펠렛 코팅한 더덕 종자는 오히려 발아율이 저하되었다. 본 연구에서도 펠렛 소재와 접착제의 종류에 따라 종자의 발아 특성이 뚜렷하게 차이를 보였다. 접착제 5종과 펠렛 소재 5종의 효과를 비교한 더덕 종자의 경우, pyrophyllite + illite + diatomite 혼용 피복재와 PVP 소재를 사용하여 코팅한 펠렛 종자에서 발아율이 최적이었다고, 토양 수분 함량이 높을수록 펠렛 종자의 발아율이 증가되었다(Choi et al., 2006).

본 연구에서 펠렛 코팅 종자의 발아율이 파종 환경에 따라 차이가 있었다(Table 2). 펠렛 종자를 필터페이퍼에 파종한 경우, 발아율은 무처리 종자와 유사 또는 향상된 결과를 보여 펠렛 코팅 소재가 발아에 유해한 영향을 미치지 않는 적합한 소재로 나타났으나, 온실 상토와 사양토에 파종한 펠렛 종자의 발아 특성은 무처리보다 감소하는 경향을 보였다. 특히, DTCS/PVA 펠렛 종자의 발아율은 프라이밍 단독 처리에서보다 높았다. 그러나 온실 상토에 파종한 경우, 프라이밍 후 펠렛 코팅한 종자에서 무처리 종자와 유사한 발아율을 보였고, 온실 사양토에 파종한 경우에는 모든 펠렛 종자의 발아율이 무처리보다 모두 감소하였다.

따라서 생태 복원 재료로 야생 종자를 이용할 경우, 효율성을 높이기 위해서는 종자의 프라이밍 전 처리는 필수적이다. 그러나 펠렛 코팅은 종자의 발아 특성을 저해시킬 수 있기 때문에, 발아 효율을 높이기 위해서는 코팅 종자가 파종되는 각각의 토양 환경에 맞는 펠렛 코팅 소

재를 선정하여 발아 특성을 평가한 후 현지에 적용해야 한다. 결론적으로, 본 연구 결과를 기준으로 볼 때, 벌개미취 종자의 현장 적용성을 고려한다면, 벌개미취 종자는 프라이밍 전 처리가 필요하고, 펠렛 코팅을 병행할 경우, 펠렛 소재로는 DTK가 적합하였고, 접착제는 PVA와 CMC 간 차이가 크지 않기 때문에 모두 사용이 가능한 것으로 판단된다. 식물종과 파종환경별 발아특성을 고려한 펠렛소재의 개발이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국립생물자원관 연구사업 국가야생식물종자은행 운영(2019년, NIBR201912104)의 지원에 의해 수행되었다.

References

- Baxter, L. and Waters, L. 1986. Effect of a hydrophilic polymer seed coating on the imbibitions, respiration and germination of sweet corn at four matrix potentials. *Journal of American Society for Horticultural Science* 111(4): 517-520.
- Choi, K.U., Lee, Y.S. and Cha, K.H. 2006. Selection and technical development for seed pelleting material of *Codonopsis lanceolata* Trautv. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* 14(3): 130-133.
- Da Silva, C.B. and Marcos-Filho, J. 2015. Performance of bell pepper seeds in response to drum priming with addition of 24-epibrassinolide. *HortScience* 50(6): 873-878.
- Divi, U.K. and Krishna, P. 2010. Overexpression of the brassinosteroid biosynthetic gene AtDWF4 in Arabidopsis seeds overcomes abscisic acid-induced inhibition of germination and increases cold tolerance in transgenic seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation* 29(4): 385-393.
- Fridman, Y. and Savaldi-Goldstein, S. 2013. Brassinosteroids in growth control: How, when and where. *Plant Science* 209: 24-31.
- Gesch, R.W., Archer, D.W. and Spokas, K. 2012. Can using polymer-coated seed reduce the risk of poor soybean emergence in no-tillage soil? *Field Crops Research* 125: 109-116.
- Grellier, P., Riviere, L.M. and Renault, P. 1999. Transfer and water-retention properties of seed-pelleting materials. *European Journal of Agronomy* 10(1): 57-65.
- Gorim, L. and Asch, F. 2017. Seed coating increases seed moisture uptake and restricts embryonic oxygen availability in germinating cereal seeds. *Biology* 6(31): 1-14.

- Hirota H. 1972. Studies of surface sowing in grassland establishment with use of pelleted seeds. *Journal of Japanese Society of Grassland Science* 18(1): 299-309.
- Ju, Y.K., Kwon, H.J., Cho, J.S., Shin, S.L., Kim, T.S., Choi, S.B. and Lee, C.H. 2011. Growth and heavy metal absorption capacity of *Aster koraiensis* Nakai according to types of land use. *Korean Journal of Plant Resources* 24(1): 48-54.
- Kim, H.J., Jung, H.H. and Kim, K.S. 2009. Effects of priming on seed germination of *Gymnaster koraiensis* under low temperature. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 27(1): 44-48.
- Kim, H.J., Jung, H.H. and Kim, K.S. 2010. Influence of dry storage duration, gibberellic acid, and priming on germination of *Aster koraiensis* at low temperature. *Horticulture Environment and Biotechnology* 51(6): 471-476.
- Klein, J.D. and Sachs, M. 1992. Measurement of water uptake and volatile production by coated wheat seeds and subsequent seedling growth. *Seed Science & Technology* 20: 299-305.
- Lee, C.B. 2003. *An Illustrated Book of the Korean Flora*. Hyangmun Press, Seoul.
- Millier, W.F. and Bensin, R.F. 1974. Tailoring pelleted seed coatings to soil moisture conditions. *New York's Food Life Science* 7: 20-23.
- Nam, B.M., Kim, J.Y., Jeong, S., Lee, J.H., Nam, M.J., Oh, B.U. and Chung, G.Y. 2015. A flora of vascular plant in Mt. Cheongnyangsan (Bonghwa-gun, Andong-si). *Korean Journal of Plant Resources* 28(5): 616-634.
- Nomura, T., Ueno, M., Yamada, Y., Takatsuto, S., Takeuchi, Y. and Yokota, T. 2007. Roles of brassinosteroids and related mRNAs in pea seed growth and germination. *Plant Physiology* 143(4): 1680-1688.
- Paparella, S., Araujo, S.S., Ross, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D. and Balestrazzi, A. 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports* 34(8): 1281-1293.
- Pedrini, S., Merritt, D.J., Stevens, J. and Dixon, K. 2017. Seed coating: science or marketing spin? *Trends in Plant Science* 22(2): 106-116.
- Peishi, Z., Plummer, J.A., Turner, D.W., Bell, D.T. and Choengsaat, D. 1999. Low- and high-temperature storage effects on viability and germinability of seeds of three Australian Asteraceae. *Australian Journal of Botany* 47(2): 265-275.
- Shin, E.H. and Park, S.J. 2014. Component analysis and antioxidant activity of *Aster koraiensis* Nakai. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 43(1): 74-79.
- Taylor, A.G., Allen, P.S., Bennett, A.M., Bradford, K.J., Burns, J.S. and Misra, M.K. 1998. Seed enhancements. *Seed Science Research* 8: 245-256.
- Tanaka, K., Nakamura, Y., Asami, T., Yoshida, S., Matsuo, T. and Okamoto, S. 2003. Physiological roles of brassinosteroids in early growth of Arabidopsis: Brassinosteroids have a synergistic relationship with gibberellin as well as auxin in light-grown hypocotyl elongation. *Journal of Plant Growth Regulation* 22(3): 259-271.
- Wang, B., Zhang, J., Xia, X. and Zhang, W.H. 2011. Ameliorative effect of brassinosteroid and ethylene on germination of cucumber seeds in the presence of sodium chloride. *Plant Growth Regulation* 65(2): 407-413.
- Yusuf, M., Fariduddin, Q. and Ahmad, A. 2012. 24-Epibrassinolide modulates growth, nodulation, antioxidant system, and osmolyte in tolerant and sensitive varieties of *Vigna radiata* under different levels of nickel: A shotgun approach. *Plant Physiology Biochemistry* 57: 143-153.

Manuscript Received : October 22, 2019

First Revision : January 7, 2020

Second Revision : January 13, 2020

Accepted : January 14, 2020