

이탈리안 라이그라스 종자 코팅을 위한 피복 재료 선발 및 발아 평가

장현수¹ · 배희수^{1,†} · 이윤호¹ · 김대욱¹ · 안승현¹ · 윤종탁² · 김욱한²

Selection of Coating Materials for Italian Ryegrass Seed and Its Germination Assessment

Hyeonsoo Jang¹, Hui-su Bae^{1,†}, Yun-ho Lee¹, Dae-Uk Kim¹, Seung-hyun Ahn¹, Jong-Tak Youn², and Uk-Han Kim²

ABSTRACT This study was conducted to determine an appropriate coating method for mechanized sowing of small and light Italian ryegrass seeds. In the case of manufacturing coated seeds, 2% PVA was superior as an adhesive compared to PVP and Tween80. Calcium carbonate + talc adhered to the seeds smoothly and well and the seed weight was higher than that of the other coating materials. The germination percentage of seeds coated with calcium carbonate + talc was 95.8%, which was not significantly different from 96.5% of the control group, but the mean daily germination was the highest. As the coverage ratio of calcium carbonate + talc increased, the strength tended to increase when coated at 1.5 times the seed weight. There was no difference in the germination rate and plant height compared to the control group according to the coverage ratio.

Keywords : binder, CaCO₃, Italian Ryegrass, seed coating, Talc

한국에서 최근 한우, 젖소, 돼지 등의 사육두수가 2000년 약 10,000마리에서 2019년 현재 약 15,000마리로 1.5배 증가되고 있어 가축의 먹이인 사료의 공급도 점차 증가하고 있다(MAFRA, 2020). 이탈리아 라이그라스(*Lolium multiflorum* L.)는 동계 사료작물로, 한국에서 이탈리아 라이그라스 재배면적은 2009년 6만 ha에서 2019년 16.5만 ha로 275% 증가하여 재배가 크게 증가하고 있다(RDA, 2019; Nam *et al.*, 2020).

하지만 최근 농가 인구 감소 문제 및 농가 인구 고령화 등으로 인해서 농작업의 편리성이 주요한 문제로 대두되면서 조사료 생산 분야에서도 파종 투입 시간 및 노력의 절감이 큰 화두로 떠오르고 있다. 따라서 농가 차원에서 농업용 드론 및 헬기를 활용한 방제, 파종, 시비가 시도되고 있다(Yu *et al.*, 2019). 일부 사료작물 재배 농가에서는 파종도 드론으로 활용하고 있으나 이탈리아 라이그라스는 천립중 2.5 ~ 3.0 g으로 미립종자이기 때문에 바람에 쉽게 비산되어 원하는 구역에 정확한 파종이 어렵고 주변 농경지 및 비

농경지에 떨어져 잡초화될 가능성이 있다. 원활한 파종을 위해 종자의 무게를 증량하고 발아에 영향을 주지않는 피복 재료를 선발, 항공 파종에 적합한 비율 설정 등의 코팅 기술이 요구될 것으로 보인다.

종자의 코팅 기술은 첫째로 토마토, 브로콜리, 목초 종자 등에서 발아 능력이 낮은 종자를 코팅하여 발아율을 높이거나, 옥수수에 미량요소들을 직접 코팅하여 불량 토양에서의 입모율을 높이는데 활용되고 있다(Afzal *et al.*, 2020; Tondy *et al.*, 2021). 최근에는 식물 성장 촉진 박테리아나 균류 등 미생물을 처리하여 파종된 동부와 벼의 유모의 성장 개선 및 생산량의 증대를 유도하는 연구도 수행되고 있으며(Ma *et al.*, 2019; Javed *et al.*, 2021), 아미노산을 포함한 키토산, 칼슘, 아연 등 무기물질 등도 벼의 출현율을 높이고 토마토의 초기 성장을 촉진시키는데 도움이 된다는 연구결과도 보고되었다(Shivay, 2008; Adhikari *et al.*, 2016; Javed & Afzal, 2020).

둘째로 무게가 가벼운 미립 종자를 물리적으로 크게 키

¹농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사 (Junior Scientist, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

²농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관 (Senior Scientist, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

[†]Corresponding author: Hui-su Bae; (Phone) +82-63-238-5123; (E-mail) huisu81@korea.kr

<Received 23 September, 2021; Revised 9 November, 2021; Accepted 11 November, 2021>

위 기계화가 가능하도록 하는 목적으로 활용되기도 한다. 목초 종자인 톨페스큐 등은 미립종자들이 많아 펠렛팅 및 코팅 방법을 찾는 연구가 진행되었으며(Kim *et al.*, 2007), 당근, 상추 등 원예용 미립종자들도 크게 키워 기계화가 가능한 크기로 키우기 위한 펠렛 종자 제조기술, 프라이밍 처리를 통해 발아를 균일하게 높이는 기술 등이 개발되었다(Kang *et al.*, 2003; Kang, 2004). 또한 발아율 및 종자 생리 활성화에 개선 피복 재료를 선별하기 위한 적정 피복 재료, 접착제 선별, 조합하는 기술들이 개발되었다(Naylor & Rentice, 1986; Qiu *et al.*, 2020).

셋째로 벼, 콩 등을 직파할 경우 새의 피해가 높아지는데 이에 대한 피해를 줄이기 위해 기피 성분인 철분을 입혀서 이를 방지하기도 한다(Furuhata *et al.*, 2009). 철분이나 규산 코팅할 경우에 새 피해 방지와 더불어 키다리병 등의 경감 등의 효과가 있어서 효과가 있으나 철분 코팅시 제조시 발생하는 산화열로 인해 발아율이 떨어지고 출현율이 늦어지는 단점도 있다(Yamauchi, 2017; Kang *et al.*, 2020).

피복 물질 관련해서 제오라이트 등 많은 무기물들이 피복 물질로 많이 연구되어 상용화되고 있으며(Kang, 2007; Afzal *et al.*, 2020), 종자의 물리적 특성 화학적 조성, 피복 물질 조성 비율에 따라 코팅 성형의 유불리가 달라질 수 있으며 식물체의 발아 능력에 영향을 줄 수도 있다(Kwon *et al.*, 2005; Im *et al.*, 2020). 본 논문에서는 이탈리아 라이그라스 종자를 코팅 성형하기에 적합한 무기질 피복 재료와 접착제 조합을 선별하고 이탈리아 라이그라스 발아 및 출현에 어떠한 영향을 주는지 알아보려고 수행하였다.

재료 및 방법

코팅 재료 및 종자 코팅 방법

실험에 사용되는 종자는 국산 개발 품종 코윈어리(Kowinearly)

를 사용하였고 천립중이 2.5 g이었다. 종자코팅기인 KNGM-3M7 (Kuboda, Japan)을 활용하여 코팅하였으며, 코팅 방법은 코팅 기계 장치에 종자를 먼저 투입하고 접착제와 피복제를 번갈아 투입하는 방식으로 코팅을 하였다.

접착 특성을 살펴보기 위해서 이탈리아 라이그라스 종자와 탄산칼슘의 무게 비율 1:1로 하여 코팅하였다. 재료의 접착제는 tween80, polyvinyl pyrrolidone (PVP), polyvinyl alcohol (PVA) 세가지 재료와 각 재료별 농도를 2% 3%, 5%로 하여 접착 특성을 살펴보았다.

피복 재료의 특성을 살펴보기 위해서는 제오라이트, 탄산칼슘, 탈크, 구조토, 부산석고, 벤토나이트, 고령토 분말을 사용하였다(Table 1). 각 피복 재료를 1:1 무게 비율로 혼합하여 활용했으며, 종자와 혼합 재료의 무게 비율을 1:1로 하여 각 혼합 재료별 코팅 종자를 제조하였으며 화학적 특성을 조사하였다(Table 2).

무게 차이에 의한 비율을 살펴보기 위해서 선별된 코팅 물질인 탄산칼슘+탈크의 무게비를 0.5:1, 1:1, 1:1.5, 1:2의 비율로 설정하여 무게별로 코팅 종자의 강도를 측정하였다.

코팅 종자 물성 분석

코팅 피복 물질의 물리적, 화학적 성질을 보기 위해 코팅 전에 각각의 무게당 부피를 측정하였고 pH meter (Seven Excellence, Mettler-Toledo GmbH, Switzerland)를 이용해 피복 재료와 증류수의 비율을 1:5로 희석하여 pH와 EC를 측정하였다(Table 2). 코팅 종자의 형태적 특성을 살펴보기 위해서 코팅 후 천립중, 리터중을 측정하였다. 장폭비는 코팅 종자의 세로 길이를 가로폭으로 나눈 값으로 장폭비를 구하였으며, 세로 길이를 가로 두께로 나눈 값도 구하였다.

선별된 코팅 재료인 탄산칼슘+탈크로 이탈리아 라이그라스 종자 코팅 후 무게별 코팅 종자의 강도를 측정하기 위해 무게비를 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2로 조합한 코팅 종자를 texture

Table 1. Materials used as seed coating.

Coating materials	Abbreviation	Source
Zeolite	ZL	KANTO CHEMICAL
Calcium Carbonate	CC	DONGHO CALCIUM CO., LTD
Talc	TC	ILSHIN CHEMICAL CO., LTD
Diatomaceous Earth	DE	Imerys minerals California, Inc.
Byproduct Gypsum	BG	NAMHAE CHEMICAL CORP
Bentonite	BN	HANIL
Kaolin	KL	HANIL
Uncoated Italian Ryegrass Seed	US	-

Table 2. Physical and chemical properties of coating material combinations.

Coating materials combination	Volume (cm ³ /100g)	pH (1:5)	EC (ds/m)
CC+ZL	115	9.25	0.91
CC+TC	125	9.56	0.49
CC+BG	105	8.17	11.74
CC+KL	120	8.49	0.91
ZL+TC	150	9.28	1.12
ZL+BG	130	7.56	13.86
ZL+KL	150	8.22	0.33
ZL+BN	120	9.01	7.76
ZL+DE	295	8.67	2.20
TC+BN	120	10.22	9.99
TC+BG	105	10.27	12.12
KL+BG	105	7.83	12.43
KL+BN	120	9.8	9.88
BG+BN	105	8.83	32.42

^zCC, calcium carbonate; ZL, zeolite; TC, talc; BG, byproduct gypsum; KL, Kaolin; DE, Diatomaceous Earth, BN, Bentonite; US, uncoated seeds.

analyzer (TA-XtplusC, Texture Technologies Corp., USA) 를 이용해서 강도를 측정하였다(Qiu *et al.*, 2020). 기계적 측정 조건은 Table 3과 같다.

코팅 종자 발아 검정

종자 코팅시 외형 형성이 좋은 피복 조합을 선발하여 종자의 코팅 후 발아율 및 초기 생육을 확인해보았다. 20°C growth chamber에 24시간 암조건으로 설정하여 코팅 종자를 100×15 cm의 petridish에 여과지(90 mm, Watman No.2)를 깔고 각 20개씩 5반복으로 치상하고 증류수를 부은 후 관찰하였다. 발아는 유아가 보이는 것을 발아한 것으로 하였으며 평균 발아율(Percent germination; PG)은 파종 종자수에 대한 발아 종자 수의 비율을 백분율로 구하였고, 종자 치상 후 중간 조사일까지의 발아율을 발아세(Germination energy; GE)로 정의하였다. 발아한 모든 종자의 발아 속도를 살펴보기 위해 평균발아속도(MDG)를 구하였다. 피복

비율별 차이를 보기 위한 실험도 동일하게 수행하였으며 초장은 10일 후에 관찰하여 측정하였다.

$$PG (\%) = N/S \times 100 \quad (1)$$

PG; Percent Germination, N; total number of germination, S; total number of seed

$$GE (\%) = N/S_{(nday)} \times 100 \quad (2)$$

GE; germination Energy, N; total number of germination until mid-day, S(nday); total number of seed until mid-day

$$MDG = N/T \quad (3)$$

MDG; Mean Daily Germination, N; total number of germination, T; total number of investigated days

통계분석

본 연구의 실험 데이터는 처리당 3반복으로 측정하고 R studio (ver.4.0.3)을 이용하여 ANOVA를 실시한 후, Tukey's HSD를 통해 5% 수준에서 통계적 유의성을 검정하였다($p < 0.05$).

결 과

접착제 및 농도에 따른 코팅

3개의 접착제 종류 및 농도 차이에 따른 코팅 성형 정도를 비교한 결과는 Table 4와 같다. 무기질 피복 재료가 벗겨지지 않고 잘 부착되게 하였는지 판단하는 지표이다. PVA > PVP > T80 순으로 천립중이 높았으며 리터중(Litter weight) 또한 같은 경향을 보여 PVA가 가장 유리하였다. 농도별 차이에서는 PVA 2%와 PVA 5%가 통계적 차이를 보이지 않았으며 Tween80에서도 각 접착제별 농도에 따른 천립중의 통계적 차이를 보이지는 않았다. PVP는 농도가 높을수록 천립중이 높아지는 경향을 보였다. 이탈리안 라이그라스처럼 긴 타원형 모양의 종자는 코팅이 잘 입혀질 경우 길이와 폭의 차가 작아지고, 둥근 형태가 되어 장폭비가 낮아지는

Table 3. Operational parameters for execution of tests for hardness of coated seeds.

Caption	Probe	Pre-test Speed	Test Speed	Post-test Speed	Trigger Force	Strain
Value	25 mm	0.5 mm/sec	0.5 mm/sec	0.5 mm/sec	2.0 g	80%

Table 4. Coated *Lolium multiflorum* L. seed molding property according to binder type and concentration.

Binder	Concentration (%)	Thousand seed weight (g)	Litter weight (g)	Length width ratio
Polyvinyl Alcohol	2	4.30±0.07 ^{ab}	557±22.6 ^a	3.02±0.51 ^{ab}
	3	4.14±0.15 ^b	534±4.1 ^b	2.97±0.18 ^b
	5	4.39±0.07 ^a	564±3.4 ^a	3.04±0.54 ^b
Polyvinyl Pyrrolidone	2	3.49±0.07 ^d	481±4.4 ^{cd}	4.14±0.57 ^a
	3	3.85±0.12 ^c	471±2.8 ^{cd}	4.31±0.85 ^{ab}
	5	4.27±0.1 ^{ab}	531±6.2 ^b	3.92±0.37 ^a
Tween 80	2	3.55±0.05 ^d	498±6.3 ^c	3.94±0.38 ^{ab}
	3	3.49±0.05 ^d	485±3.0 ^{cd}	3.9±0.64 ^a
	5	3.54±0.06 ^d	497±0.1 ^c	3.83±0.52 ^{ab}
Uncoated Seeds	-	2.53±0.18 ^e	410±2.8 ^e	3.67±0.37 ^{ab}
P-value		***	***	***

^zIn the same column, significant differences according to Tukey’s HSD at $P \leq 0.05$ are indicated by different letters after one-way ANOVA.

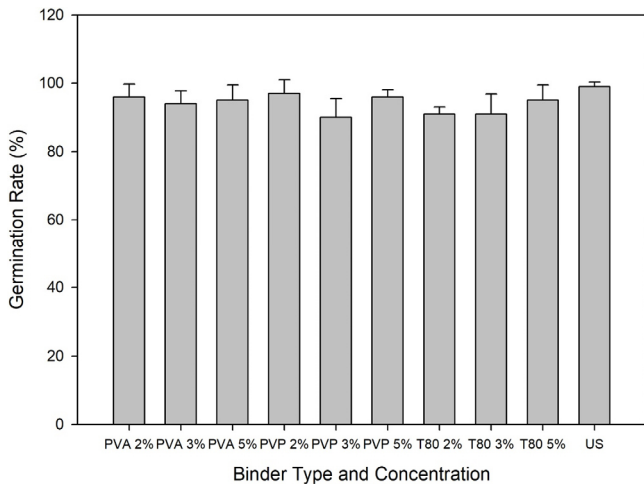


Fig. 1. Germination characteristics of coated *Lolium multiflorum* L seeds by binder type and concentration.

^z(a) PVA, polyvinyl alcohol; (b) PVP, polyvinyl pyrrolidone; (c) T80, Tween80; (d) US, uncoated seeds.

데, PVA를 제외한 PVP, Tween80에서는 농도가 높을수록 장폭비가 낮아지는 경향을 보였다. 접착제와 농도에 따른 이탈리아 라이그라스 종자 발아율에 차이는 없었으며 종자 발아에 영향을 주지 않았다(Fig. 1).

피복 물질에 따른 코팅

피복 재료의 물리성과 화학성을 살펴본 결과 조사 결과 밀도가 가장 높은 피복 물질은 탄산칼슘+부산석고, 탈크+

부산석고, 부산석고+벤토나이트였으며 가장 밀도가 낮아 부피가 큰 재료는 제오라이트+규조토 조합이었다(Table 2). 대부분의 무기질 재료는 약염기성을 띄었으며 pH가 가장 중성에 가까운 재료의 조합은 제오라이트+부산석고 조합이며, EC가 가장 낮은 것은 제오라이트+고령토, 탄산칼슘+탈크, 탄산칼슘+고령토, 탄산칼슘+제오라이트였다.

PVA 2% 접착제로 농도를 활용하여 이탈리아 라이그라스 종자에 적합한 피복 재료를 선발하기 위한 실험의 결과는 Table 5와 같다. 피복재료별로 천립중이 높은 조합은 탄산칼슘+탈크였으며 리터중도 상대적으로 높아 피복 재료가 잘 부착되어 외형 형성이 매끄럽고 우수하였다. 규조토가 포함된 피복 재료는 분말이 가볍고 제오라이트와 붙지 않았으며, 벤토나이트의 경우도 타 피복 재료와 접착이 잘 되지 않아 천립중, 리터중이 상대적으로 낮았다. 대부분 피복 조건은 장폭비가 코팅 성형 전보다 낮아 상대적으로 원형으로 제조되었으나 탄산칼슘+탈크는 장폭비가 긴 장두형 형태로 성형이 되는 특징을 보였다.

발아율은 통계적으로 유의성이 없었으나 탄산칼슘+부산석고, 탄산칼슘+제오라이트, 탄산칼슘+탈크, 제오라이트+탈크 조합이 95% 이상으로 우수하였으며 부산석고+벤토나이트는 88%로 낮은 경향을 보였다(Table 6). 중간조사일까지의 발아율인 발아세 또한 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다. 발아한 모든 종자의 평균적인 발아 속도인 평균 발아 속도는 탄산칼슘+탈크, 제오라이트+탈크, 탈크+벤토나이트가 높은 경향을 보였다.

Table 5. Coated *Lolium multiflorum* L. seeds molding property according to coating materials.

Combination materials	Thousand seed weight (g)	Litter weight (g)	Length width ratio	Length thickness ratio	Coated seeds shape ^y
CC+ZL	5.15±0.041 ^b	623±4.6 ^b	3.0±1.35	5.9±1.44	++
CC+TC	5.64±0.020 ^a	650±4.6 ^a	4.0±0.71	5.8±1.38	++
CC+BG	5.08±0.051 ^b	577±3.9 ^{ef}	2.6±0.71	5.0±1.65	+
CC+KL	4.87±0.074 ^b	604±2.5 ^c	3.3±0.43	6.0±1.39	+
ZL+TC	5.12±0.055 ^b	594±2.0 ^{cd}	2.5±0.48	4.5±1.56	++
ZL+BG	4.47±0.068 ^c	574±3.2 ^{efg}	2.4±0.54	4.7±1.36	+
ZL+KL	4.86±0.069 ^b	582±1.8 ^{de}	3.8±0.44	4.8±1.44	+
ZL+BN	3.92±0.046 ^d	554±4.8 ^h	3.2±0.27	4.6±1.17	-
ZL+DE	3.53±0.248 ^e	442±4.1 ⁱ	2.9±1.05	5.0±0.76	-
TC+BN	4.26±0.055 ^c	569±5.9 ^{gh}	4.0±0.28	5.5±1.30	-
TC+BG	5.03±0.152 ^b	602±4.1 ^c	2.6±0.36	5.8±1.21	+
KL+BG	5.12±0.096 ^b	632±2.5 ^b	3.5±0.44	5.4±1.35	++
KL+BN	3.75±0.043 ^d	559±3.0 ^{gh}	2.9±0.22	5.5±1.32	-
BG+BN	3.73±0.067 ^f	559±3.0 ^{gh}	3.4±0.42	5.4±1.46	-
US	2.61±0.020 ^e	410±2.5 ^j	3.75±0.30	6.5±0.58	-
<i>P</i> -value	***	***	NS	NS	-

^zIn the same column, significant differences according to Tukey's HSD at $P \leq 0.05$ are indicated by different letters after one-way ANOVA.

^y- rough on surface, + smooth on surface, ++ very smooth on surface.

^xCC, calcium carbonate; ZL, zeolite; TC, talc; BG, byproduct gypsum; KL, Kaolin; DE, Diatomaceous Earth, BN, Bentonite; US, uncoated seeds.

피복 정도(무게)에 따른 코팅

위에서 선발한 탄산칼슘+탈크 조합에서 피복제 무게를 증량할수록 천립중이 증가하는 경향이 있었다(Table 7). 하지만 장폭비의 비율 차이에 있어서는 대조구와 유의성이 없었지만 종자의 세로 길이와 두께의 비는 코팅 전 종자에 비해서 작아져 통계적으로 유의성이 있었다. 피복제의 비율을 높일수록 가로축의 폭보다는 가로축의 두께에 피복 재료가 더 부착되었다.

무게에 따른 강도 비교를 해보았을 때 일반 종자의 경우 8,537 g였으나 코팅을 입혔을 경우에는 강도를 견디는 힘이 증가하였다(Fig. 2). 종자와 무기 피복제의 무게 비율을 1:1.5로 하였을 경우에 13,759 g로 최대였으나 1:1, 1:2와 통계적으로 큰 차이를 보이지 않았다.

피복 정도에 따라 발아율 차이는 없었으며, 발아세와 평균 발아 일수 또한 차이를 보이지 않았다. 하지만 파종 10 일 후 초장은 코팅 종자 1:1일 경우 6.08 cm이고 코팅하지 않은 종자는 5.84 cm로 코팅 종자가 높았으나 통계적 유의미한 차이를 보이지는 않았다.

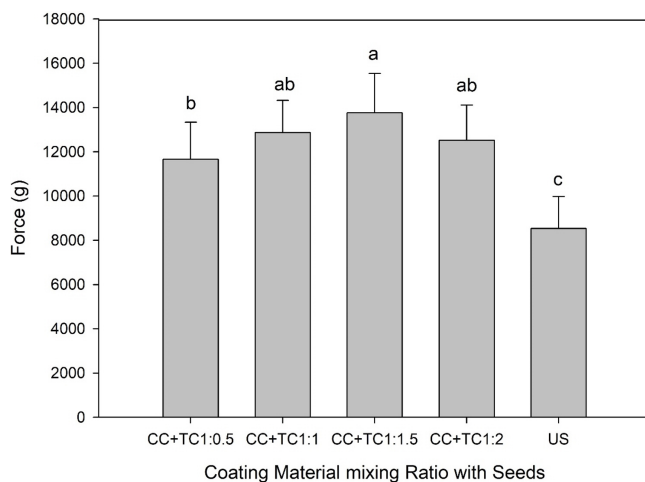


Fig. 2. Seed coating compressive strength (Force, g) of coated seeds with coating materials CC+TC 1:0.5, coated seeds with coating materials CC+TC 1:1, coated seeds with coating materials CC+TC 1:1.5, coated seeds with coating materials CC+TC 1:2, and uncoated seeds.

^zIn the same column, significant differences according to Tukey's HSD at $P \leq 0.05$ are indicated by different letters after one-way ANOVA.

^yCC, calcium carbonate; TC, talc; US, uncoated seeds

고 찰

접착제 및 농도에 따른 코팅

코팅 종자의 접착제 역할은 종자와 피복 재료간에 친화성이 있어 종자에 부착이 잘되며 발아 및 초기 식물체 생육에 부정적인 영향이 적어야 한다(Kang, 2002). 선행 연구들에 따르면 종자에 따라 Carboxymethyl cellulose, Arabic gum, PVA 등 가장 유리한 접착제가 다르게 제시되었다(Min, 1996; Cho *et al.*, 2000; Kang, 2002). 본 연구 결과에서는 접착제 종류에 따라서는 PVA > PVP > Tween80 순으로 접착력이 좋았으며, 접착제 종류 및 농도에 따라 발아에 부정적인 영향을 보이지는 않았고 코팅하지 않은 대조구와 차이를 보이지 않았다. 당근은 펠렛 종자 성형시 Tween80, PVA, PVP 등의 접착제에 따른 발아율 차이가 없었으며, PVA가 다른 접착제에 비해 접착 능력이 우수하고 발아가 원활하다고 평가하였다(Kang, 2002; Kang, 2004). 또한 PVA 2%, Tween80 2%의 경우 pH가 약산성인 pH 5.88, pH 6.00으로 종자에 불리한 영향을 주지 않을 것으로 판단하고 있으므로(Kang, 2004), 대부분 염기성인 무기질 피복제의 pH를 중화하는데 영향을 줄 수 있을 것으로 보인다.

피복 물질에 따른 코팅

코팅 종자가 산업적으로 이용되기 위해서는 외형 형성이 우수하고 발아에 문제가 되지 않아야 한다. 단용 피복제의 활용보다 혼합 재료의 활용이 코팅 종자 성형에 유리하고 발아율도 더 좋다는 보고가 있다(Kwon *et al.*, 2005). 본 연구결과에서 피복 재료의 경우 탄산칼슘+탈크, 탄산칼슘+제오라이트, 제오라이트+탈크, 부산석고+고령토가 매끄럽게 코팅되었다(Table 5). 벤토나이트, 구조토가 포함된 코팅 종자는 표면이 매끄럽지 않고 피복 재료의 가루가 제조과정에서 쉽게 떨어지는 문제를 가지고 있었다. 상추와 택사 종자의 경우 구조토가 타 피복 재료와 성형시 성형에 유리하다고 보고되었으나(Kang, 2004; Kwon *et al.*, 2005), 본 연구에서 구조토는 성형이 잘 되지 않아 본 연구와 대비되었다. 이는 시중 유통되는 구조토의 종류에 따라 부피 등의 물성이 다르기 때문으로 판단된다. 부산석고도 코팅은 이루어졌지만 타 피복 물질에 비해 매끄럽게 성형이 되지 않았는데, 부산 석고 자체에 불균일한 입자 크기에 기인한 것으로 보이며 이를 활용하기 위해서는 더 균일한 가공 방법이 필요하다. 부산석고는 염해지 등의 토양 개량 및 산도 조절 및 식물체 생육 증진 등의 효과가 있으며 인산비료 생산 후 공정에서 남는 부산물의 이용성이 증가될 것으로 보인다(Alcordero *et al.*, 1993; Gharaibeh *et al.*, 2010).

본 연구에서 피복 성형이 외형적으로 잘되고 친립중과 리터중이 높은 탄산칼슘, 탈크, 고령토가 포함된 코팅종자에서 유리하게 성형되었는데 이는 상추, 잔대, 택사 등 다른 종자에서도 공통적이었다(Kang, 2004; Kwon *et al.*, 2005; Im *et al.*, 2020).

코팅 종자의 발아 능력과 관련하여서 코팅 종자의 두께와 물리화학적 조성에 따라 수분 및 산소의 공급을 불리하게 하여 발아율이 감소된다는 의견이 있으나(Baxter & Waters, 1986; Klein & Sachs, 1992) 본 연구에서는 이러한 경향성은 크게 없었으며 탄산칼슘+탈크, 탄산칼슘+제오라이트, 제오라이트+탈크, 탄산칼슘+부산석고가 대조구에 비해 발아율은 약간 떨어지지만 발아세 및 평균발아속도는 큰 차이를 보이지는 않아 이탈리아 라이그라스의 발아능력을 크게 저해하지 않는 피복 재료로 판단된다(Table 6).

Table 6. Germination characteristics of coated *Lolium multiflorum* L. seeds by coating material combinations.

Combination materials	PG (%)	GE (%)	MDG
CC+ZL	97.0±2.83	22.5±3.55	14.7±0.78 ^{ab}
CC+TC	95.8±4.09	27.1±1.64	15.6±0.42 ^a
CC+BG	92.6±2.61	22.7±1.33	14.4±0.37 ^{ab}
CC+KL	93.7±5.68	23.4±1.84	13.8±0.51 ^{ab}
ZL+TC	98.0±2.35	25.9±5.68	15.7±0.32 ^a
ZL+BG	91.8±8.47	25.7±2.85	14.3±0.75 ^{ab}
ZL+KL	93.2±3.27	20.9±2.22	13.4±0.46 ^b
ZL+BN	92.8±5.89	25.0±5.36	14.3±0.69 ^{ab}
ZL+DE	94.6±3.91	28.9±0.96	15.1±0.42 ^{ab}
TC+BN	96.2±2.30	24.7±4.98	15.6±0.49 ^a
TC+BG	93.4±5.68	19.7±4.7	14.2±1.08 ^{ab}
KL+BG	90.0±5.43	28.3±4.0	15.3±0.24 ^{ab}
KL+BN	92.6±5.32	25.0±4.1	13.9±1.39 ^{ab}
BG+BN	88.0±4.69	22.3±3.79	14.3±0.33 ^{ab}
US	96.4±2.30	28.2±1.64	15.3±0.56 ^{ab}
P-value	NS	NS	**

^aIn the same column, significant differences according to Tukey's HSD at $P \leq 0.05$ are indicated by different letters after one way ANOVA.

^yPG: percentage germination, GE: germination energy, MDG: mean daily germination

^xCC, calcium carbonate; ZL, zeolite; TC, talc; BG, byproduct gypsum; KL, Kaolin; DE, Diatomaceous Earth, BN, Bentonite; US, uncoated seeds.

Table 7. Coated *Lolium multiflorum* L. seeds molding property according to the ratio of coating materials.

Ratio of seed to coating material	Thousand seed weight (g)	Length to width ratio	Length to thickness ratio
CC+TC 1:0.5	3.97±0.029 ^d	4.61±0.812	6.19±1.495 ^a
CC+TC 1:1	5.64±0.144 ^c	4.13±1.012	5.36±1.012 ^{ab}
CC+TC 1:1.5	7.38±0.059 ^b	3.77±0.605	5.60±1.866 ^{ab}
CC+TC 1:2	8.27±0.149 ^a	4.33±0.605	4.75±1.489 ^b
US	2.53±0.160 ^e	3.75±0.30	6.5±0.58 ^a
<i>P</i> -value	***	NS	*

^dIn the same column, significant differences according to Tukey's HSD at $P \leq 0.05$ are indicated by different letters after one-way ANOVA.

^yCC, calcium carbonate; TC, talc; US, uncoated seeds.

Table 8. Germination characteristics of coated *Lolium multiflorum* L. seeds by coating materials combinations.

Ratio of seed to coating material	PG (%)	GE (%)	MDG	Height ^y (cm)
CC+TC 1:1	88.3±3.84	23.2±3.22	14.7±3.84	6.09±0.94
CC+TC 1:1.5	89.5±2.80	23.4±2.31	14.9±0.47	6.08±1.05
CC+TC 1:2	85.4±2.73	23.8±3.19	14.2±0.46	6.10±0.99
US	91.7±2.73	24.4±0.54	15.3±0.46	5.84±1.03
<i>P</i> -value	NS	NS	NS	NS

^dIn the same column, significant differences according to Tukey's HSD at $P \leq 0.05$ are indicated by different letters after one-way ANOVA.

^yHeight at the 10th day after sowing of coated *L. multiflorum* L. seeds.

^xCC, calcium carbonate; TC, talc; US, uncoated seeds.

피복 비율에 따른 코팅

코팅 종자의 크기와 강도는 종자의 기계화에 중요한 요소이다. 위 실험에서 선발된 탄산칼슘+탈크로 종자와 무게 차이를 두어 코팅 종자를 제조하였을 시 천립중이 무게 비율에 따라 증가하였다. 하지만 가로폭 비율보다 가로 두께 비율이 더 깊이 낮아졌을 때 폭 방향보다는 두께 방향으로 피복제가 입혀지는 것을 알 수 있었으며(Table 7), 코팅 종자의 강도는 코팅 종자가 대조구에 비해 높은 경향이 있었으나, 탄산칼슘+탈크 1:1 비율 이상으로 코팅할 경우에는 차이를 보이지 않았다. 발아율은 약간 떨어지는 경향을 보이는데 펠렛 종자의 경우 비율이 증가하면 무처리종자보다 발아 능력이 떨어지는데 수분과 산소 투과가 제한된 것으로 보고 있지만(kang, 2004), 초장에는 대조구에 비해 차이를 보이지 않아 이탈리아 라이그라스 종자의 발아 및 초기 생육에 영향을 주지 않는 것으로 판단된다(Table 8).

적 요

1. 이탈리아 라이그라스의 코팅종자 제조시 접착제는 PVA

가 유리하였으며 2~5% 내에서는 큰 차이가 없어 경제적으로 판단했을 경우에는 2%가 유리하다.

- 탄산칼슘+탈크를 활용하여 종자 코팅하는 것이 천립중, 리터중이 높고 매끄럽게 성형되어 유리하였으며, pH와 EC가 타 피복제에 비해 낮아 화학적으로 안전하였으며, 발아세, 평균발아속도가 높아 타 피복제에 비해 우수하였다.
- 탄산칼슘+탈크를 무게에 따라 코팅하여 비교했을 시, 대조구에 비해 발아율, 발아세, 평균 발아 속도에서 초장 차이를 보이지 않았으며, 강도는 피복 재료와 종자와의 무게 비율 1:1과 그 이상 무게를 추가할 경우에는 차이를 보이지 않아 경제성을 고려하였을 때 1:1이 가장 유리하였다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 새만금간척지 발이용 IRG 종자생산을 위한 질소소비량 및 파종량 설정, 과제번호: PJ013830022020)의 지원에 의해 이루어진 결과의 일부로 연구사업 수행에 협조해 주신 모든 분들께 감사드립니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Alcordero, I. S. and J. E. Rechcigl. 1993. Phosphogypsum in agriculture: A review. *Advances in agronomy* 49 : 55-118.
- Adhikari, T., S. Kundu, and A. S. Rao. 2016. Zinc delivery to plants through seed coating with nano-zinc oxide particles. *J. Plant Nutr* 39 : 136-146.
- Afzal, I., T. Javed, M. Amirkhani, and A. G. Taylor. 2020. *Modern Seed Technology: Seed Coating Delivery Systems for Enhancing Seed and Crop Performance*. *Agriculture* 10 : 526.
- Cho, S. K., H. Y. Seo, Y. B. Oh., E. T. Lee, I. H. Chou, Y. S. Jang, Y. S. Song, and T. G. Min. 2000. Selection of coating materials and binders for pelleting onion (*Allium cepa* L.) seed. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111 : 17-20.
- Baxter, L. and L. Waters. 1986. Effect of a hydrophilic polymer seed coating on the imbibition, respiration and germination of sweet corn at four matrix potentials. *Journal of American Society for Horticultural Science* 11(4) : 517-520.
- Furuhata, M., T. Chosa, O. Matsumura, and T. Yukawa. 2009. Effect of iron-powder coating versus calcium-peroxide coating of seeds on seedling emergence and establishment of rice direct seeded in submerged paddy field. *Jpn. J. Crop Sci.* 78(2) : 170-179.
- Gharaibeh, M. A., N. I. Eltaif, and S. H. Shra'ah. 2010. Reclamation of a calcareous saline-sodic soil using phosphoric acid and by-product gypsum. *Soil Use and Management*. 26(2) : 141-148.
- Im, D. H., J. H. Nam, J. H. Kim, M. J. Lee, and I. R. Rho. 2020. Effect of pelleting treatment on seed germination in *Adenophora triphylla*. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 28(2) : 128-13.
- Javed, T. and I. Afzal. 2020. Impact of seed pelleting on germination potential, seedling growth and storage of tomato seed. *Acta Hort.* 1273 : 417-424.
- Javed, T., I. Afzal, and R. P. Mauro. 2021. Seed Coating in Direct Seeded Rice: An Innovative and Sustainable Approach to Enhance Grain Yield and Weed Management under Submerged Conditions. *Sustainability*. 13 : 2190.
- Kang, J. S. 2002. Selection of binder and solid materials for pelleting welsh onion (*Allium fistulosum* L.) seeds. *Korean Journal of Life Science*. 12(6) : 721-730.
- Kang, J. S., J. L. Cho, and J. M. Lim. 2003. Effect of seed pelleting on the precision planting and seedling emergence of carrot seeds. *Korean Journal of life Science*. 13(4) : 428-432.
- Kang, J. S. 2004. Identification of pelleting materials and effect of nutrient addition on the germination of pelleted lettuce seeds. *Journal of bio-Environment control*. 13(1) : 8-15.
- Kang, J. S., B. G. Son, Y. W. Choi, Y. J. Lee, Y. H. Park, and I. S. Choi. 2007. Effect of physical, chemical properties and of pelleting solid materials on the germination in pelleted carrot seeds. 17(12) : 1701-1708.
- Kang, Y. S., W. J. Kim, D. S. Hwang, and H. K. Kim. 2020. Methods of application and beneficial effects of silicate-coating rice seeds. *Korean journal of crop science*. 65(1) : 30-39.
- Klein, J. D. and M. Sachs. 1992. Measurement of water uptake and volatile production by coated wheat seeds and subsequent seedling growth. *Seed Science & Technology* 20 : 299-305.
- Kwon, B. S., Y. S. Jang, and S. S. Choi. 2005. Effect of germination on *Alisma plantago* by pellet coating. *Korean Journal of Crop Science*. 50 : 239-241.
- Kim, J. D., C. H. Kwon, S. H. Chae, J. K. Kim, B. W. Kim, and S. Sung. 2007. Comparison of coating and pelleting technique for surface sowing of orchardgrass and tall fescue seeds. *J. Korea Grassl. Sci.* 27(4) : 281-286.
- Ma, Y., Latr, A., Rocha, I., Freitas, H., Vosatka, M., and Oliveira, R. S. 2019. Delivery of inoculum of *Rhizophagus irregularis* via seed coating in combination with *Pseudomonas libanensis* for cowpea production. *Agronomy*. 9(1) : 33.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2020. Retrieved from <https://lib.mafra.go.kr/Search/Detail/48112?Key=주요통계>
- Min, T. G., M. S. Park, and S. S. Lee. 1996. Physical characteristics and germination of pelleted tobacco seeds depending on molding materials. *Kor. J. Crop Sci.* 41 : 535-541.
- Nam, C. H., K. S. Kim, M. H. Park, A. A. Yun, H. S. Bae, and H. S. Jang. 2020. The Effect of Cultivation Environments on Seed yield and Quality of Italian Ryegrass in Samsan Reclaimed Land. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 40(2) : 73-79.
- Naylor, R. E. and C. G. Rentice. 1986. Effect of a calcium peroxide seed coating on germination of perennial ryegrass seeds. *Annals of applied biology*. 108(3) : 611-618.
- Qiu, Y., M. Amirkhani., H. Mayton, Z. Chen, and A. G. Taylor. 2020. Biostimulant seed coating treatments to improve cover crop germination and seedling growth. *Agronomy*. 10 : 154.
- RDA. 2019. Profitability and management implications of small-area crops. *RDA*. 8-13.
- Shivay, Y. S., D. Kumar, R. Prasad, and L. P. S. Ahlawat. 2008. Relative yield and zinc uptake by rice from zinc sulphate and zinc oxide coatings onto urea. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 80 : 181-188.
- Tondey, M., A. Kalia, A. Singh, G. S. Dheri, M. S. Taggar, E. Nepovimova, O. Krejcar, and K. Kuca. 2021. Seed Priming and Coating by Nano-Scale Zinc Oxide Particles Improved Vegetative Growth, Yield and Quality of Fodder Maize (*Zea mays*). *Agronomy*. 11 : 729.
- Yamauchi, M. 2017. A review of iron-coating technology to stabilize rice direct seeding onto puddled soil. *Agronomy Journal*. 109(3) : 739-70.
- Yu, S. H., Y. K. Kim, I. S. Choi, J. K. Woo, C. S. Hyun, T. G. Kang, H. J. Jun, S. H. Lee, J. G. Kim, and Y. Choi. 2019. Analysis of Utilization Status and Spray Nozzle Characteristics and of Agricultural Drones. *Korean Society for Agricultural Machinery*. 24(2) : 96.