

ORIGINAL ARTICLE

## 수박종자의 건열 처리가 발아 및 유묘생장에 미치는 효과

박은지 · 이정은 · 안성광 · 제병일 · 박영훈 · 이용재 · 최영환 · 강점순\*

부산대학교 원예생명과학과

### Effect of Dry Heat Treatment on Seed Germination and Seedling Growth in Watermelon

Eun-Ji Park, Jung-Eun Lee, Seong-Kwang An, Byoung-Il Je, Young-Hoon Park, Yong-Jae Lee, Young-Whan Choi, Jum-Soon Kang\*

Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

#### Abstract

This study was conducted to investigate changes in seed vigor based on temperature of dry heat and duration treatment of watermelon seeds and examine the effect on percent of emergence and seedling vigor. When the upper limit temperature of dry heat treatment was raised to 80°C, the percent of the germination decreased. Moreover, T<sub>50</sub> was delayed as the upper limit temperature of dry heat treatment increased. The higher the upper limit temperature of dry heat treatment and the longer the treatment period, the higher the percentage of abnormal seedlings. The optimum upper limit temperature for dry heat treatment was 72°C, and the treatment period was five days. Seed vigor was better maintained at 30°C, 45°C, and 52°C, followed by stepwise exposure to high temperatures of 72°C, the upper limit of dry heat treatment, rather than dry heat treatment at a high temperature of 72°C for 5 days from the initial stage of treatment. When the fungicide was added during the dry heat treatment process, the germination percentage decreased and the percent of the abnormal seedling percentage increased. However, the addition of 10 mg/kg fungicide did not significantly reduce seed vigor.

**Key words** : Dry heat treatment, Germination, Seedling growth, Seed vigor, Temperature

#### 1. 서 론

우리나라에서 육성한 수박 품종들의 수출량은 증가하고 있으며 접목재배를 거의 하지 않는 중국, 미국 등 거대한 수박 종자 시장을 선점하기 위해서는 내병성은 반드시 구비해야 될 선결 조건이다. 또한 병균에 감염되면 재배 농가들은 방제비용 상승으로 생산단가가 높아지게 되므로 수박의 안정적 재배를 위해서는 병균에 감염되지 않는 무병 종자의 확보가 중요하다(Choi and Lee, 2002; Choi, et al, 2014).

최근 중국을 비롯한 동남아시아 국가들은 노동력이 저렴한 이점 때문에 해외 수박 채종지로 주목을 받고 있으나 이들 나라의 고온다습한 날씨는 종자전염균에 감염될 수 있는 최적의 기후조건이기도 하다.

작물 재배에 막대한 손실을 초래하고 있는 바이러스 병은 박과작물을 대표하는 병이며(Lee et al., 2005) 접축전염, 종자전염, 토양전염 등 다양한 수단으로 전염되며, 외관적으로 잎이나 과실의 변색, 기형과 및 조직의 괴사 등의 병징이 나타난다. 곰팡이나 세균과는 달리 바이러스에 감염된 식물체는 실질적으로 치료가 불가

Received 25 January, 2023; Revised 4 February, 2023;

Accepted 4 February, 2023

\*Corresponding author : Jum-Soon Kang, Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 50463, Korea  
Phone : +82-55-350-5523  
E-mail : kangjs@pusan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Table 1.** Effect of dry heat treatment and their limiting high temperature on percent germination, T<sub>50</sub>, normal seedling and abnormal seedling of watermelon seeds. Normal seedling measured at 8 days after sowing at 25°C

Seed treatment <sup>z</sup>	Cultivar								
	Dry heat treatment temperature(DHTT) (°C)	Speed				Chogosokgual			
		Germ. (%)	T <sub>50</sub> (days)	Normal Seedling (%)	Abnormal seedling (%)	Germ. (%)	T <sub>50</sub> (days)	Normal Seedling (%)	Abnormal seedling (%)
65	91.6	2.46	87.3	4.3	93.6	2.90	89.9	3.9	
68	90.0	2.60	84.2	5.8	88.4	3.26	84.1	4.3	
70	88.1	2.56	82.6	5.6	85.8	3.52	80.6	5.2	
72	87.6	2.67	81.8	5.8	87.8	3.57	83.0	4.8	
75	85.7	3.12	78.8	6.9	86.7	3.75	81.4	5.3	
78	80.2	3.34	73.9	7.3	84.2	3.88	77.8	6.4	
80	83.3	3.56	76.1	7.2	82.4	3.82	75.7	6.7	
Untreated	98.4	2.23	97.5	0.9	99.3	2.20	98.1	1.2	

  

Significance <sup>y</sup>	Germination	T <sub>50</sub>	Normal Seedling	Abnormal seedling
	DHTT (A)	**	**	**
Cultivar (B)	NS	*	NS	NS
A x B	*	*	*	*

<sup>z</sup> Seed were dry heat treatment by setting various limiting high temperature for 5 days.

<sup>y</sup> NS, \*, \*\*, \*\*\* Nonsignificant or significant at  $P=0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$ , respectively.

능하고 방제할 수 있는 약제가 거의 없으므로 사전 예방에 의한 방제가 매우 중요하다(Kim and Lee, 2000; Choi et al., 2004).

국내에서 종자전염성병균인 바이러스 피해는 1999년 중국에서 오염된 박 종자에 접목한 수박에서 발생한 이후 박과 작물 재배 주산지를 중심으로 매년 발생되고 있다. 바이러스가 작물에 대한 반응은 매우 다르며, 특히 오이녹반모자이크바이러스(CGMMV, Cucumber Green Mottle Mosaic Virus), 담배모자이크바이러스(TMV, Tomato Mosaic Virus)등은 잔류기간이 길고 피해정도가 크다고 알려져 있다(Agrios, 1999; Kyung Hee University, 2003).

해외 채종의 증가로 국제간의 종자교류가 활발해짐에 따라 선진국에서는 자국 내 병원균 확산과 농가 피해 시 종자회사와 농민간 법적분쟁을 최소화하기 위해 엄격한 규제(ASTA, The American Seed Trade Association)를 통해 생산된 종자의 병원균 감염 여부를 종자회사 자체적으로 면밀하게 조사하게 하고 있다. 이러한 이유로 유해 병원균들을 불활성화시키는 종자처리의 기술확보가 절실하게 요구되고 있다. 박과 작물에서 널리 실시하고 있는 종자처리에는 발아력을 증진시키는 priming 처리(Nascimento and West, 1998; Kang

et al., 2000; Lee and Lee, 2005), 무병화를 위해서 살균제를 처리하는 화학적 종자처리 및 물리적 종자처리가 있다(Nakamura, 1982).

물리적 방법은 주로 병원균에 대한 열을 가하여 불활성화시키는 방법인데 50°C의 온수로 20~30분 동안 처리한 온탕처리 방법이 있으나 이런 방법은 바이러스를 불활성화시키는 것에는 효과적이지 않다(Nakamura, 1982).

종자 건열처리(Dry heat treatment)는 종자에 높은 열을 가해 열에 불안정한 바이러스를 포함하여 종자전염균을 사멸 또는 불활성화시키는 종자처리 기술이다(Masaharu et al., 2012; Choi et al., 2014; Na et al., 2014). 건열처리는 친환경 종자처리이며 종피 또는 종자 내부에 있는 병원균까지 완전제거가 가능하고 종자를 약액에 침지할 필요가 없으며, 처리 후에도 일정기간 동안 저장이 용이하다는 이점이 있다(Kim and Lee, 2000). 이러한 이유로 최근에는 원예작물을 비롯한 타작물까지도 이용이 확대되고 있다(Geetika et al., 2012; Park et al., 2015; Park et al., 2020)

그러나 건열처리 동안의 급격한 온도변화로 인하여 발아세와 발아율이 저하되거나 비정상모 발생이 증가하기도 한다(Choi et al., 2014; Jun and Lee, 2014). 이

**Table 2.** Effect of dry heat treatment duration on percent germination, T<sub>50</sub>, normal seedling and abnormal seedling of watermelon seeds. Normal seedling measured at 8 days after sowing at 25°C

Seed treatment <sup>z</sup>	Cultivar							
	Speed				Chogosokgual			
Dry heat treatment duration (DHTD) (days)	Germ. (%)	T <sub>50</sub> (days)	Normal Seedling (%)	Abnormal seedling (%)	Germ. (%)	T <sub>50</sub> (days)	Normal Seedling (%)	Abnormal seedling (%)
1	96.1	2.38	94.0	2.1	95.8	2.65	93.0	2.8
2	97.6	2.43	94.4	3.2	93.6	3.25	89.8	3.8
3	90.7	2.78	86.1	4.6	90.4	3.23	84.7	5.7
4	90.4	2.82	83.2	7.2	91.2	3.33	85.2	5.0
5	91.2	2.98	81.5	9.7	91.7	3.43	86.3	5.4
Untreated	99.6	2.19	98.5	1.1	98.3	2.32	98.1	1.3

  

	Germination	T <sub>50</sub>	Normal Seedling	Abnormal seedling
Significance <sup>y</sup>				
DHTD (A)	***	**	***	**
Cultivar (B)	NS	*	NS	NS
A x B	*	*	**	**

<sup>z</sup> Seed were dry heat treatment with limiting high temperature at 72°C for various durations.<sup>y</sup> NS, \*, \*\*, \*\*\* Nonsignificant or significant at  $P=0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$ , respectively.

는 접목묘의 비율이 높은 박과 채소에서 접목 효율성을 저하시키는 요인이 되기도 한다(Choi et al., 2014). 종자에 살균제 처리는 종자전염균에 유발되는 병을 예방하기 위한 수단으로 이용되고 있고, 건열처리는 종자에 존재하는 바이러스나 세균을 불활성화시키는 수단으로 활용된다(Choi et al., 2014, Na et al., 2014). 따라서 살균제 처리와 건열처리의 이점을 조합한다면 처리비용과 처리시간 절감 측면에서 시너지 효과를 기대할 수 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 수박 종자의 건열처리 온도 및 건열처리와 살균제 혼용처리가 종자활력의 변화를 알아보고, 또한 묘 출현율 및 묘 활력에 미치는 효과를 검증하기 위해 수행되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 건열처리 상한온도 및 처리기간에 따른 수박종자의 발아성

본 실험에 사용된 수박 종자는 ‘스피드(농우바이오)’와 ‘초고속꿀(현대종묘)’ 이었고, 재종하여 8개월 저장된 종자였으며, 종자의 수분함량은 4%였다. 건열처리의 상한온도가 종자발아 및 활력에 미치는 영향을 조사하기 위해 65°C, 68°C, 70°C, 72°C, 75°C, 78°C 및 80°C

로 달리 설정하였고 처리기간은 4일이었다.

또한 건열처리 기간이 종자활력에 미치는 효과를 검증하기 위해 건열처리 온도를 72°C로 설정한 후 처리기간을 1, 2, 3일 및 4일로 달리하여 발아성을 조사하였다. 건열처리는 각각의 단계별 온도제어가 가능한 항온기(TH3 Seres-1,000M, JEIO TECJ Co., Ltd., Dajeon-shi, Korea)에서 1 kg의 수박 종자를 종이팩에 넣어 처리하였다. 건열처리 후 처리종자는 온도가 상온에 다다랐을 때 꺼내어 온도 25°C, 상대습도 50%인 실내에 보관하며 실험에 이용하였다.

발아시험은 petridish(9 cm)에 흡습지(Whatman No. 2) 2장을 펴고, 100립씩 종자를 3반복으로 암조건의 25°C 항온기에서 실시하였다. 발아조사는 종자를 치상한 후 8일까지는 12시간 간격으로 조사하였으며, 유근이 1.0 mm 이상 신장된 것을 발아한 것으로 하였다. 최종발아율에 대한 50% 발아에 소요되는 일수(T<sub>50</sub>)는 Coolbear et al.(1984) 공식에 의해 산출하였다.

정상묘와 비정상묘는 종자를 치상 후 5일째 조사하였다. 정상묘 판정 기준은 기본조직이 온전하고 균형있게 발달한 완전묘 였고 비정상묘는 기본조직이 없거나 심히 손상된 묘, 기형묘 및 부패한 묘는 비정상묘로 분류하였다.

**Table 3.** Effect of dry heat treatment temperature and duration on percent germination, T<sub>50</sub> and early growth of 'Speed' watermelon seeds. Seedling growth measured at 15 days after sowing at 25°C

Dry heat treatment			Germination (%)	T <sub>50</sub> (days)	Growth		
Temperature (°C)	Duration (hr)	Total duration (hr)			Fresh weight (mg/plant)	Dry weight (mg/plant)	Root length (cm)
30	0	0	98.6	2.04	155.1	28.1	9.69
	6	6	100.0	2.04	141.3	28.5	10.82
	12	12	99.1	2.04	165.8	31.8	11.34
45	3	15	100.0	2.38	135.5	13.5	9.56
	6	18	98.3	2.04	113.9	11.3	9.08
	12	24	99.1	2.39	108.8	10.8	9.23
52	6	30	100.0	2.40	114.6	11.4	8.13
	12	40	100.0	2.73	112.4	11.2	8.07
	24	48	100.0	3.04	102.4	11.2	6.83
72	24	72	100.0	3.06	109.3	10.9	6.41
	48	96	100.0	3.05	110.0	11.0	8.95
	72	120	98.3	3.04	103.3	10.3	7.58
			NS <sup>2</sup>	0.21	15.6	2.7	2.41

<sup>2</sup> Means separation in columns by least significant difference(LSD) test at  $P=0.05$ .

## 2.2. 건열처리 온도상승 단계에 따른 종자활력, 유묘생육 변화

공시품종은 '스피드(농우바이오)'와 '초고속꿀(현대종묘)' 수박 종자였다. 건열처리 온도 및 처리시간에 따른 종자 활력 변화를 검정하고자 하였다. 이를 위해 건열처리 상한온도를 72°C로 설정한 후 35°C, 45°C, 52°C 및 72°C에서 온도상승 단계를 적용하여 순차적으로 온도를 상승시켜 총 5일간 처리하였다. 건열처리 단계별 종자 활력 변화를 검정하기 위해 35°C에서 6, 12시간, 45°C에서는 3, 6, 12시간, 52°C에서는 6, 12, 24시간 그리고 72°C에서는 24, 48시간 및 72시간 건열처리 중인 종자를 샘플링하여 발아율, 묘 출현율 및 유묘생육을 조사하였다.

종자활력은 BP (Between Paper) 검정을 실시하였고 이를 위해 heavy와 regular 용지를 25°C에서 증류수로 1일간 흡습시켰다. 그 후 수분을 적당히 제거한 heavy 용지에 100립의 종자를 동일한 간격으로 치상한 후 regular 용지를 덮어 25°C 항온기에서 치상 후 15일째에 종자 활력을 조사하였다.

유묘 활력 검정은 생육온도 25°C에서 상대습도를 80%로 환경제어한 벼로형 온실에서 수행하였다. 묘 출현율은 50구 플러그판에 상토를 채운 후 50립의 수박 종자를 3반복으로 파종하였고, 묘 출현율은 파종 후 20일까지 1일 간격으로 실시하였다. 생육은 파종 후 30일

째에 초장, 하배축 길이, 하배축 직경, 뿌리길이 및 생체중과 건물중을 조사하였다.

## 2.3. 건열피해 최소화를 위한 건열처리 상한온도의 단계별 상승 모형 설정

공시품종은 '스피드(농우바이오)' 수박 종자였다. 수박 종자에서 종자전염성균의 사멸효과를 높이면서 건열처리 피해를 최소화하기 위해 건열처리 상한온도를 단계별로 상승시키는 모형을 설정하고자 하였다. 이를 위해 건열처리 과정 중 급격한 온도변화에 의한 건열피해를 경감시키고자 온도상승 단계를 적용하여 35°C에서 12시간 처리한 다음 45°C에서 12시간 처리하였고, 이어서 52°C에서 24시간 처리한 후 최종 상한온도인 72°C에서 72시간 동안 처리하여 총 5일(120시간) 건열처리 하였다.

이때의 온도상승 속도는 10분당 1°C로 조정하였다. 건열처리 상한온도까지 단계별로 온도를 순차적으로 상승시킨 처리와 처리초기부터 72°C 항온에서 5일간 건열처리한 종자간의 발아 및 유묘 활력을 검정하였다.

## 2.4. 건열처리와 살균제 혼용처리 조건구명

공시품종은 '스피드(농우바이오)', '초고속꿀(현대종묘)' 수박 종자였다. 건열처리는 방법을 위 실험의 단계별 상승 모형을 적용시켰다. 건열처리 과정 중 살균제 혼

**Table 4.** Effect of dry heat treatment temperature and duration on percent emergence, E<sub>50</sub> and early growth of 'Speed watermelon seedlings. Seedling growth measured 35 days after sowing at greenhouse

Dry heat treatment			Emergence (%)	E <sub>50</sub> (days)	Growth		
Temperature (°C)	Duration (hr)	Total duration (hr)			Fresh weight (mg/plant)	Dry weight (mg/plant)	Plant height (cm)
30	0	0	90.0	17.3	984.6	91.1	6.90
	6	6	88.0	17.5	876.6	70.4	6.63
	12	12	86.0	17.2	863.3	66.4	6.73
45	3	15	94.0	18.4	936.6	76.6	6.26
	6	18	88.0	17.0	836.5	80.2	6.13
	12	24	86.0	18.5	943.4	93.2	6.40
52	6	30	90.0	18.6	833.3	73.3	6.83
	12	40	88.0	19.2	886.6	76.6	7.66
	24	48	86.0	17.8	763.3	62.0	6.26
72	24	72	94.0	19.6	613.2	60.0	6.40
	48	96	96.0	19.2	713.2	68.2	7.73
	72	120	96.0	19.4	733.5	70.2	7.46
			NS <sup>2</sup>	1.10	45.6	4.2	NS

<sup>2</sup> Means separation in columns by least significant difference(LSD) test at  $P = 0.05$ .

용처리가 수박의 발아성과 종자 활력에 미치는 효과를 검정하고자 하였다. 사용된 살균제는 캡탄(팜한농)과 플루디옥소닐(동방아그로) 였으며, 이들 첨가농도는 10 mg/kg, 50 mg/kg, 100 mg/kg 및 200 mg/kg 였다.

건열처리 종자의 발아시험은 25°C에서 실시하였고, 아울러 BP 검정을 이용한 종자 활력을 조사하였다. 종자 활력 조사는 2회에 걸쳐 시행되었으며, 1차 조사는 치상 5일 후 정상묘와 비정상묘, 불발아종자 등을 검정하였고, 최종조사인 2차 조사는 치상 14일 후에 실시하였는데 조사항목은 하배축 길이, 하배축 직경, 뿌리수, 뿌리길이, 생체중 및 건물중을 조사하였다.

유묘 활력 검정은 생육온도 25°C에서 상대습도를 80%로 환경제어한 벤로형 온실에서 수행하였다. 묘 출현율은 50구 플러그판에 상토를 충전한 후 50립의 수박종자를 3반복으로 파종하였고, 파종 후 20일까지 1일 간격으로 묘 출현율을 조사하였다. 생육 검정은 파종 후 30일째에 초장, 하배축 길이, 하배축 직경, 뿌리길이 및 생체중과 건물중을 조사하였다.

## 2.5. 통계분석

통계분석은 SAS 프로그램(SAS9.4, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 평균값 차이를 분산분석하였고, 사후검정으로 Duncan의 다중검정( $p \leq 0.05$ )을 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 건열처리 상한온도에 따른 수박종자의 발아성

Table 1은 건열처리의 상한온도를 65°C, 68°C, 70°C, 75°C, 78°C 및 80°C로 설정하여 온도에 따른 수박 종자의 발아율과 발아속도 및 출현율을 조사하였다.

종자 건열처리는 박과작물에서 대표적인 종자전염성 오이녹반모자이크바이러스, 담배모자이크바이러스 등을 효과적으로 방제하는 수단으로 이용된다(Angelis and Manios, 1992). 건열처리된 종자는 처리 과정 중에 열 스트레스를 받아 종자 내의 효소 활력과 생리활성에 영향을 미치게 된다. 따라서 종자전염성균이 불활성화 효율을 높이고, 종자 활력이 저하되는 것을 최소화할 수 있는 건열처리 상한온도를 설정하는 것이 중요하다.

건열처리의 상한온도를 65°C에서 80°C로 상승시키면 '스피드'와 '초고속꿀' 두 품종 모두 발아율이 감소하였다. '스피드'수박의 무처리 종자는 98.4%의 높은 발아율을 보였으나, 65°C에서 건열처리된 종자는 발아율이 91.6% 였고, 80°C에서는 83.3%로 발아율이 감소하였다. 또한 발아속도 개념인 T<sub>50</sub>, 즉 최종 발아율에 대해 50% 발아에 소요되는 일수도 건열처리의 상한온도가 높을수록 발아가 지연되었다. 유묘 판별 검정에서도 건열처리의 상한온도가 높을수록 비

**Table 5.** Effect of different dry heat seed treatment methods on percent germination, T<sub>50</sub> and early growth of 'speed' watermelon seeds 8 days after sowing at 25°C

Dry heat treatment <sup>2</sup>	Duration (days)	Germination (%)	T <sub>50</sub> (days)	Fresh weight (mg/plant)
T1	4	98.2 a	2.88 b	123.6 ab
T2	4	87.8 b	3.56 c	108.4 b
Untreated	0	100.0 a	2.24 a	146.2 a

<sup>1</sup> T1 : Dry heat seed treatment was carried out at 30°C for 12 hours, at 45°C for 12 hours, at 52°C for 24 hour, then at 72°C for 72 hours to gradually increase the temperature, and the treatment period was a total of 5 days.

<sup>2</sup> T2 : Dry heat seed treatment was carried out at 72°C for 5 days.

정상묘 비율도 높아졌다.

80°C에서 건열처리된 '스피드'수박은 비정상묘 비율이 7.2%였고, '초고속꿀'수박은 비정상묘 비율이 6.7%로 높게 나타났다. 이상의 결과에서 건열처리의 상한온도를 높이면 종자에 감염된 바이러스나 세균의 멸균 효과는 우수하지만 종자 활력이 저하되었고, 특히 비정상묘 비율이 높아졌다. 반면 72°C에서 건열처리된 '스피드'는 발아율이 87.8%였고, '초고속꿀'은 87.8%의 발아율을 보여 80°C 상한온도에 비해 발아율이 높았고, 비정상묘 비율도 낮았다. 타작물에 비해 종피가 두꺼워 종자전염균의 불활성화에 어려운 박과 작물은 높은 온도에서 장기간 건열처리 할수록 종자전염성균의 불활성화에 유리한 측면이 있다. 그러나 높은 온도에서 건열처리는 종자 활력의 저하 등 건열 피해를 일어날 수 있어 적정 처리온도는 72°C 정도라고 알려져 있다(Lee et al., 2005).

본 연구에서도 건열처리 상한온도가 높아질수록 종자활력이 감소되었지만 72°C 상한온도에서는 종자활력이 저하되는 정도가 크지 않았다. 따라서 종자전염균의 불활성화 효율을 높이면서 종자활력이 저하되는 문제를 최소화 할 수 있는 건열처리 상한온도는 72°C라고 판단된다(Table 1).

Table 2는 건열처리 상한온도를 72°C로 고정된 후 처리기간을 1일부터 5일까지 1일 간격으로 달리하여 종자전염성균의 사멸효과와 높이면서 건열피해를 최소화하기 위한 최적 건열처리 기간을 조사하였다.

발아율은 건열처리 일수에 따라 차이가 있었으며, 건열처리하면 두 품종 모두 종자활력이 저하되었다. 건열처리 하지 않은 무처리 종자는 98% 이상의 높은 발아율을 보였으나 건열처리 일수가 길어질수록 발아율은 감소하였고, 5일간 건열처리된 '스피드'는 무처리보다 8.2%, '초고속꿀' 품종은 무처리보다 6.6%의 발아율이 감소하였다.

발아속도 또한 건열처리가 일수가 길어질수록 발아속도는 지연되었으며, 자엽 중앙부분이 갈라지거나 하배축 발달이 잘 되지 않는 비정상묘 비율도 증가하였다. 이와 같이 건열처리는 높은 열에 의해 종자 내 저장물질의 변형 또는 효소 대사작용에 교란으로 종자활력이 저하되는 것으로 해석된다.

### 3.2. 건열처리 온도 상승 단계 및 처리시간에 따른 종자 활력 및 초기 생육

Table 3은 건열처리 상한온도를 72°C로 설정하여 건열처리를 하는 과정 중 온도상승 단계 및 처리시간이 종자 활력에 미치는 영향을 조사한 것이다.

무처리 종자의 발아율은 98.6%였고, 건열처리의 상한온도를 72°C까지 단계별로 상승시켜 5일간 건열처리된 종자도 98.3% 발아하여 종자 활력이 저하되는 현상이 크게 나타나지 않았다. 반면 발아속도는 건열처리일수가 길어지면 지연되었으며, 건열처리 상한온도인 72°C까지 단계별로 온도를 상승시켜 건열처리한 종자는 무처리에 비해 발아속도가 1일 정도 지연되었다. 또한 건열처리 시간이 길어질수록 유묘생육인 생체중과 건물중 및 유근길이 등이 무처리 종자에 비해 약간 낮아지는 경향이 있었다.

건열처리 종자의 활력에 영향을 주는 인자는 건열처리와 온도와 종자의 수분함량이며, 10% 이상의 수분함량으로 75°C에서 건열처리는 종자 자체에도 스트레스로 작용하여 몇 분 내로 종자 활력이 종자 활력이 급격하게 저하된다(Nakamura, 1982). 종자 활력이 저하되는 것을 최소화할 수 있는 건열처리 방법은 초기 수분함량을 4% 이하로 낮추고 상한온도까지 온도를 서서히 올려주어야만 건열처리 피해를 최소화 할 수 있다(Lee et al., 2005).

건열처리 상한온도에 따라 종자 활력이 달라지며,

**Table 6.** Effect of dry heat treatment added to fungicide on percent germination, T<sub>50</sub>, normal seedling and abnormal seedling of watermelon seeds. Normal seedling measured were 15 days after sowing at 25°C

Seed treatment		Cultivar							
Dry heat treatment <sup>z</sup>	Fungicide concn. (mg/kg)	Speed				Chogosokgual			
		Germ. (%)	T <sub>50</sub> (days)	Normal Seedling (%)	Abnormal seedling (%)	Germ. (%)	T <sub>50</sub> (days)	Normal Seedling (%)	Abnormal seedling (%)
Yes	Captan 0	94.6	2.14	91.7	2.9	96.8	2.28	93.6	3.2
Yes	Captan 10	96.0	2.18	92.2	3.8	97.2	2.37	93.6	3.6
Yes	Captan 50	94.1	2.24	89.5	4.6	95.2	2.48	95.2	4.2
Yes	Captan 100	92.6	2.46	87.3	5.3	96.2	2.68	91.0	4.8
Yes	Captan 200	93.5	2.76	87.7	6.8	94.2	2.96	89.8	4.4
Yes	Fludioxonil 0	94.6	2.14	91.7	2.9	96.8	2.28	93.6	3.2
Yes	Fludioxonil 10	95.8	2.22	92.6	3.2	95.6	2.56	91.4	4.2
Yes	Fludioxonil 50	95.3	2.38	90.9	4.4	93.6	2.84	88.0	5.6
Yes	Fludioxonil 100	94.2	2.35	88.5	5.7	94.2	3.11	89.0	5.2
No	Fludioxonil 200	92.6	2.82	87.4	6.2	93.7	3.01	87.3	6.4
No	Untreated	98.8	2.08	98.2	0.6	99.0	2.11	97.8	1.2
LSD.05		2.2	0.20	2.1	0.2	2.1	0.20	2.1	0.2
		Germination		T <sub>50</sub>	Normal Seedling		Abnormal seedling		
Significance <sup>y</sup>									
Fungicide concn.(A)		*		**		*		**	
Cultivar (B)		*		*		*		*	
A x B		NS		*		NS		*	

<sup>z</sup>Dry heat seed treatment was carried out at 30°C for 12 hours, at 45°C for 12 hours, at 52°C for 24 hour, then at 72°C for 72 hours to gradually increase the temperature, and the treatment period was a total of 5 days.

<sup>y</sup> NS, \*, \*\*, \*\*\* Nonsignificant or significant at  $P=0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$ , respectively.

상한온도까지 급속하게 온도를 상승시키면 종자활력이 저하되는 것 등의 건열피해가 나타날 수 있다. 그러나 건열처리 상한온도를 72°C로 설정한 후 처리개시 온도를 30°C에서부터 45°C, 52°C, 72°C로 단계적으로 상승시켜 4일간 처리하면 종자 활력이 저하되는 건열피해를 경감시킬 수 있었다(Table 3).

Table 4는 건열처리의 상한온도를 72°C로 설정한 후 온도상승 단계 및 처리시간이 유묘세에 미치는 영향을 조사하였다. 종자 건열처리는 여러 종류의 종자 전염을 하는 채소 작물 종자에서 바이러스를 불활성화하는 유용한 수단으로 이용되고 있다(Masaharu et al., 2012). 그러나 종자전염병성 병균의 방제효과가 뛰어나다 할지라도 종자 활력에 심각한 손상을 초래한다면 실용적인 건열처리 방법이라고 할 수 없다.

건열처리의 상승온도 및 처리시간에 따른 묘 출현율은 큰 차이가 없었고, 전체적으로 86% 이상의 묘 출현율을 보였다. 묘 출현 속도는 건열처리 일수가 길어질수록 출현소요일수는 길어 졌으며, 5일간 건

열처리된 종자는 묘 출현 속도가 무처리에 비해 2일 지연되었다. 건열처리 시간이 길어질수록 35일간 생육시킨 식물체의 생체중과 건물중은 무처리에 비해 감소하였으나, 초장은 무처리와 유의적인 차이가 없어 건열피해 증상이 나타나지 않았다.

생체중과 건물중 등 일부 식물체의 일부 생육이 저하되는 경향이 보이거나 발아율이나 초장에는 영향을 미치지 않으므로 종자전염성 병균에 감염된 종자나 바이러스에 감염된 종자를 건열처리에 의해 불활성화시킴으로써 건전묘 확보가 가능할 것으로 판단된다.

### 3.3. 건열피해 최소화를 위한 건열처리 단계별 온도 상승 모형

Table 5는 수박 종자에서 종자 활력이 저하되는 건열피해를 최소화하기 위해 건열처리 상한온도까지 단계별로 온도를 상승시키는 모형을 설정한 것이다. 건열처리 상한온도를 높이면 종자에 부착되어 있는 여러 종류의 병균이나 바이러스를 사멸하는 과정

**Table 7.** Effect of dry heat treatment added to fungicide on fresh weight, dry weight and root length of watermelon seeds. Seedling measured were 15 days after sowing at 25°C

Seed treatment		Cultivar					
Dry heat treatment <sup>2</sup>	Fungicide concn. (mg/kg)	Speed			Chogosokgual		
		Fresh weight (mg)	Dry weight (mg)	Root length (cm)	Fresh weight (mg)	Dry weight (mg)	Root length (cm)
Yes	Captan 0	176	21.4	11.30	178	93.6	10.78
Yes	Captan 10	187	22.9	10.33	166	93.6	10.13
Yes	Captan 50	180	22.3	11.21	148	95.2	9.23
Yes	Captan 100	165	18.2	10.43	139	91.0	9.43
Yes	Captan 200	169	18.9	9.78	144	89.8	9.56
Yes	Fludioxonil 0	176	21.4	11.30	178	93.6	10.78
Yes	Fludioxonil 10	183	23.1	10.11	149	91.4	9.89
Yes	Fludioxonil 50	164	19.9	9.88	138	88.0	10.22
Yes	Fludioxonil 100	159	17.2	10.43	140	89.0	10.07
No	Fludioxonil 20	162	18.0	9.23	148	87.3	9.32
No	Untreated	198	24.6	12.04	185	97.8	11.43
LSD.05		12	1.4	1.20	11	1.4	0.82
		Fresh weight		Dry weight		Root length	
Significance <sup>3</sup>							
Fungicide concn.(A)		*		*		NS	
Cultivar (B)		*		*		NS	
A x B		NS		NS		NS	

<sup>2</sup> Dry heat seed treatment was carried out at 30°C for 12 hours, at 45°C for 12 hours, at 52°C for 24 hour, then at 72°C for 72 hours to gradually increase the temperature, and the treatment period was a total of 5 days.

<sup>3</sup> NS, \*, \*\*, \*\*\* Nonsignificant or significant at  $P=0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$ , respectively.

에서 종자 자체에도 스트레스 작용하여 종자발아 및 유묘생육에는 큰 영향을 줄 수 있다.

건열처리 하는 과정중 75°C 이상의 지속적인 고온처리는 종자 활력이 감소되는 결과를 보였다(Table 5). 처리 초기 단계부터 72°C의 고온으로 5일간 건열처리(T2 처리)한 종자는 30°C에서 12시간 처리한 후, 45°C에서 12시간 처리, 이어서 52°C에서 24시간 처리 후 72°C에서 72시간 단계적으로 고온에 감응시킨 처리(T1 처리)한 종자에 비해 발아율이 약 10.4% 감소되었다.

또한 T2 처리는 T1 처리에 비해 발아속도도 늦었고, 유묘의 생체중도 감소되었다. 반면 건열처리 상한온도인 72°C까지 단계별로 상승시킨 T1 처리는 무처리 종자에 비해 발아속도와 유묘 생체중은 낮았으나 발아율은 크게 저하되지 않았고, T2 처리보다는 건열피해 정도가 낮았다.

따라서 수박 종자에서 종자 활력 저하 문제를 최소화할 수 있는 건열처리 모형은 72°C까지 단계별로 온도를 상승시키는 처리였다.

### 3.4. 건열처리와 살균제 혼용처리가 발아율 및 종자활력에 미치는 영향

Table 6, 7은 건열처리 과정 중 살균제를 첨가하여 발아성과 유묘 활력을 조사한 결과이다. 종자에 살균제 처리는 종자전염균에 유발되는 병을 예방하기 위한 수단으로 이용되고 있고, 건열처리는 바이러스나 세균이 종자에 존재하는 바이러스나 세균을 불활성화하는 수단으로 활용된다. 따라서 살균제 처리와 건열처리의 유용한 효과들을 조합한다면 처리단계와 처리시간 절감 측면에서 시너지 효과를 기대할 수 있다.

수박종자의 발아율은 건열처리의 단독요인, 건열처리 과정 중 첨가되는 살균제의 종류 및 처리농도에 따라 차이를 보였다. 건열처리 과정 중 살균제의 첨가농도가 높아질수록 비정상모 비율이 높았다. 전반적으로 건열처리 과정 중 살균제를 첨가하면 발아율이 약간 낮아졌으며, 이러한 경향은 fludioxonil의 처리농도가 높을수록 뚜렷하였다. 건열처리에 첨가되는



살균제 중 captan이 fludioxonil 처리구보다 종자 활력이 저하되는 정도가 낮았다. 또한 살균제의 첨가 농도가 높아질수록 생체중 및 건물중 등 유효 생육이 낮아지는 경향이었다.

종자소독제로 사용되는 살균제 적정농도 200 mg/kg 범위라고 알려져 있고, 건열처리 과정 중 200 mg/kg 이하의 살균제 첨가한 처리구들은 종자 활력이 크게 저하되지 않았다.

살균제 종자처리하는 종자나 토양 내에 존재하는 여러 가지 유해균으로부터 종자를 보호하는 것이며, 건열처리하는 세균과 바이러스와 불활성화시키는 것이다. 이와 같이 살균제 처리의 이점과 건열처리의 이점을 조합한 건열처리하는 유해 병원균이 존재하는 토양에서 효과가 클 것으로 예측된다.

수박 종자에서 건열처리하는 과정 중 첨가되는 적정 살균제 종류는 captan이었고, 처리농도는 10 mg/kg 유용하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 수박 종자의 건열처리 온도 및 건열처리 기간에 따른 종자 활력 변화를 알아보고, 또한 묘 출현율 및 묘 활력에 미치는 효과를 검증하기 위해 수행되었다.

건열처리의 상한온도를 80℃로 상승시키면 발아율이 감소하였다. 또한 T<sub>50</sub>은 건열처리의 상한온도가 높을수록 발아가 지연되었다.

최적 건열처리 상한온도는 72℃ 였고, 처리기간은 5일 이었다. 건열처리 방법 가운데 처리 초기단계부터 72℃의 고온으로 5일간 건열처리(T2 처리)보다는 30℃, 45℃, 52℃로 거쳐 건열처리 상한온도인 72℃ 단계적으로 고온에 감응시키는 처리(T1 처리)에서 종자활력 유지에 좋았다.

건열처리 과정 중 살균제를 첨가농도가 높아지면 발아율이 낮아졌으며, 비정상묘 비율은 높아졌다. 반면 10 mg/kg 살균제 첨가에서는 종자 활력을 유의미하게 저하시키지 않았다.

이러한 결과로 건열처리방법(T1 처리)과 Captan 10 mg/kg 살균제 혼용 처리로 종자 활력에 영향을 주지 않으면서 종자에 존재하는 세균이나 바이러스를 불활성화시킴으로써 수박의 건전묘 확보가 가능할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 과정은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음

#### REFERENCES

- Agrios, G. N., 1999, Plant Pathology. 5<sup>th</sup> ed., Elsevier Academic Press, Burlington, 751-790
- Avgelis, A. D., Manios, V. I., 1992, Elimination of cucumber green mottle mosaic tobamovirus by composting infected cucumber residues, Acta Hort., 302, 311-314.
- Coolbear, P., Francis, A., Grierson, D., 1984, The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds, J. Exp. Bot., 35, 1609-1617.
- Choi, B. S., Lee, J. M., Choi, G. W., 2014, Post-conditioning periods and seed orientation affects the vigor of cucurbit seeds with dry-heat treatment, Kor. J. Hort. Sci. Technol., 32(1), 26-32.
- Choi, S. M., Lee, J. M., 2002, Responses of bottle gourd seeds to dry heat treatment as affected by cultivars and seed maturity, Institute Life Sci. Resour., 22, 67-71.
- Choi, S. M., Lee, J. M., Baek, J. Y., 2004, Effects of dry heat treatment of 'Earth ace' melon seeds as affected by fruit maturity, after-ripening and seed size, Institute Life Sci. Resour., 23, 44-48.
- Geetika, P., Sudhakar, M., Aruna, J., Ugam, K. C., 2012, Effect of dry heat treatments on viability and vigor of Cassia tora L. seeds, Plant Sci., 2, 58-64.
- Jun, S. Y., Lee, Y. K., 2014, Effects of heat treatments on the microbial reduction and germination rates of red radish sprout seeds (*Raphanus sativus*), Korean J. Food Preserv., 21(4), 544-548.
- Kang, J. S., Choi, Y. W., Son, B. G., Ahn, C. K., Cho, J. L., 2000, Effect of hydropriming to enhance the germination of gourd seeds, 21, 559-564.
- Kim, D. H., Lee, J. M., 2000, Seed treatment for cucumber green mottle mosaic virus (CGMMV) in gourd (*Lagenaria siceraria*) seeds and its detection, J. Kor. Soc. Hort. Sci., 41, 1-6.
- Kyung Hee University, 2003, Development of dry heat treatment technique for vegetable seeds, Agricultural Research & Development Promotion Center, Naju, Korea.
- Lee, S. H., Jung, K. Y., Lee, J. M., 2005, Response of cucurbitaceous crops seeds with defective seed coat to dry-heat treatment, Institute Life Sci. Resour., 24,

- 51-55.
- Lee, S. H., Lee, J. M., 2005, Enhancement of germination of dry-heat treated squash seeds by solid matrix priming, *Institute Life Sci. Resour.*, 24, 46-50.
- Masaharu, K., Naoko, H., Takashi, S., 2012, Disinfection of seeds of cucurbit crops infested with *acidovorax citrulli* with dry heat treatment, *J. Phytopathol.*, 160, 364-368.
- Na, Y. W., Baek, H. J., Choi, Y. M., Lee, S. Y., Lee, J. R., Chung, J. W., Park, Y. J., Kim, S. H., 2014, Dry-heat treatment effect for seed longevity prediction in rice germplasm, *Kor. J. Crop Sci.*, 59, 230-238.
- Nakamura, H., 1982, Effect of dry heat treatment for seed disinfection on germination in vegetable, *Japan Agricultural Research Quarterly*, 15, 514-523.
- Nascimento, W. M., West, S. H., 1998, Priming and seed orientation affected seedcoat adherence and seedling development of muskmelon transplant, *HortScience*, 33, 847-848.
- Park, E. J., Lee, G. B., Choi, Y. H., Son, B. G., Choi, Y. W., Lee, Y. J., Park, Y. H., Suh, J. M., Kang, J. S., 2015, Establishment of seed treatment for healthy production of peanut sprout, *J. Environ. Sci.*, 24, 755- 762.
- Park, K. W., Kim, J. H., Baek, J. P., Lee, S. Y., 2020, Changes in germination rate and growth of CMV-resistant GM pepper and non-GM peppers (*Capsicum annuum* L.) as influenced by overwintering condition and fruit drying method, *Horti. Sci. Tech.*, 38, 785-794.
- 
- Master. Eun-Ji Park  
Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University  
park5520@pusan.ac.kr
  - Master. Jung-Eun Lee  
Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University  
wjddms@pusan.ac.kr
  - Assistant Professor. Seong-Kwang Ahn  
Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University  
seongkwangan@pusan.ac.kr
  - Assistant Professor. Byoung-Il Je  
Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University  
bije@pusan.ac.kr
  - Professor. Young-Hoon Park  
Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University  
ypark@pusan.ac.kr
  - Professor. Yong-Jae Lee  
Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University  
yjl@pusan.ac.kr
  - Professor. Young-Whan Choi  
Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University  
ywchoi@pusan.ac.kr
  - Professor. Jum-Soon Kang  
Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University  
kangjs@pusan.ac.kr