

전류자극 및 전기장 처리가 현미 발아에 미치는 영향

임기택 김장호 선우훈 홍지향 정종훈

Effects of Electric Current Stimuli and High-Voltage Electric Field Treatments on Brown Rice Germination

K. T. Lim J. H. Kim H. Seonwoo J. H. Hong J. H. Chung

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of electric current stimuli and high-voltage electric field treatments on brown rice germination. The brown rice stimulated by electrical current stimuli, functional electrical stimuli of a pulse type, and high-voltage electric field treatments were observed (Type I, II and III). Treatment Type I was a method of semi-soaking brown rice with electric current stimuli of 0.13 V/cm, 0.19 V/cm, and 0.25 V/cm into Petri-dishes for 72 hours. Type II was a method of semi-soaking brown rice with functional electrical stimuli of a pulse type (DC 1 V, 1 Hz, 5%, and duty cycles of 5%, 20%, and 35%) into Petri-dishes for 72 hours. Type III was a method of water-soaking with high-voltage electric field treatments for 60 hours. High-voltage electric field treatments at 15 kV/cm were also conducted for 2.5 min, 7.5 min, and 10 min, respectively. The germination rate and the sprout growth of brown rice germinated by electric current stimuli with 0.13 V/cm, 0.19 V/cm, and 0.25 V/cm were increased by about 10-15% compared with those of the control group. The germination rate and the sprout growth of brown rice germinated by functional electrical stimuli of pulse type (DC 1 V, 1 Hz, 5% duty cycle) were increased by about 10~15% compared to those of the control group. Also, the best effective treatment among high-voltage electric field treatments was the 10 min group at 15 kV/cm. The germination rate and the sprout growth of brown rice germinated by this treatment of 10 min at 15 kV/cm were increased by about 10~20% compared to those of the control group. The treatments of electric current stimuli and high-voltage electric field accelerated the germination rate and sprout growth of brown rice by about 10~15% compared to those of the control group.

Keywords : Electric current stimuli, Electric field treatments, Brown rice, Germination ratio, Sprout length

1. 서론

현미를 발아시키면 고혈압 예방, 비만억제, 신경안정 등의 생리활성 기능에 효과가 있다고 알려져 있는 GABA(γ -aminobutyric acid) 등의 기능성 성분이 현미 싹 길이 약 2.5 mm에 이를 때 급격히 증진 및 생성되는 것으로 보고되고 있다

(Juliano and Bechtel, 1985). 또한, 발아 시 효소가 활성화되고, 단백질의 질적 변화, 미량 영양소의 증가, 탄수화물의 소화율 증가 및 반영양적 요소의 감소나 제거가 이루어지는 등 다양한 변화가 일어나기 때문에 발아에 의한 식품의 영양적 가치를 증대시키려는 연구가 많이 이루어지고 있다(Kim and Lee, 1997). 이러한 이유로 최근에 국내 발아현미 소비량이

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication on 2009-12-16, reviewed on 2010-03-02, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-03-16. The authors are Ki Taek Lim, Graduate Student, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Jang Ho Kim, Hoon Seonwoo, Graduate Student, Ji Hyang Hong, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, and Jong Hoon Chung, Professor, Dept. of Biosystems & Biomaterials Science and Engineering, Seoul National University, Korea. Corresponding author: J. H. Chung, Professor, Dept. of Biosystems & Biomaterials Science and Engineering, Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea; Fax: +82-02-880-4601; E-mail: <jchung@snu.ac.kr>.

큰 폭으로 증가하고 있다(Kum et al., 2004). 이런 여건의 변화에 따라 양질의 발아현미를 안정적으로 생산할 수 있는 생산 공정과 작업 시간을 단축시키는 제조 기술 및 시스템 개발이 요구되고 있으나, 기존의 침지공정과, 공정을 거친 현미를 발아시키는 발아현미 제조 공정은 약 일주일 정도의 시간이 소요되고 있는 실정이다.

따라서 국내 종자(현미)의 생산량을 확대시키기 위해서는 발아율과 초기생육을 향상시킬 수 있는 새로운 방법의 개발이 절실히 요구되고 있다. 종자의 발아부진은 종피와 배의 구조 또는 화학적인 원인에 의한 내적 요인과 수분, 온도, 빛 및 산소 등과 같은 생육환경인 외적 요인에 의해 발생하는 것으로 보고되고 있다(Adams, 1999; Okazaki et al., 1978). 특히 종자의 배 주위를 둘러싸고 있는 배유, 종피 및 과피 등으로 구성된 외피는 물이나 산소의 유입을 방해하거나 기계적 장벽으로 작용함으로써 유근의 출현을 방해하여 종자발아를 억제하는 것으로 알려져 있다(Bevilacqua et al., 1987; Woo and Lee, 1985). 지금까지 종자의 발아율 향상에 영향을 미치는 다양한 인자의 구명은 물론 화학적, 물리적 처리방법을 활용하여 종자의 발아를 촉진시키기 위한 연구들이 활발히 진행되어 왔다(Obolensky, 1953).

특정 물리, 화학적 방법을 처리하면 휴면종자의 RNA 합성 및 활성 증가, 세포분열의 촉진 및 발아억제 물질의 작용을 제한함으로써 발아가 촉진되는 것이 보고되었다(Lee et al., 1987). 그 이외에도 호르몬 처리, 프라이밍 처리, 화학적 파상처리 등을 이용해 종자의 발아력을 향상시키는 연구가 보고되고 있다.

화학적 방법과 더불어, 종자의 발아는 종피의 산소투과성, 삼투성, 배의 생리적 불안전 등과 연계된 휴면, 종자의 충실도 등에 영향을 받으므로 이러한 요인들을 타파하기 위한 특정 물리적 처리 기술 방법이 발아 촉진에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 특히, 저선량 방사선, 자기장 처리 등과 같은 물리적 처리는 휴면타파, 발아율 증가, 발아촉진 및 생육 촉진 등의 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Moon and Chung, 2000). 이 연구에 의하면 토마토 종자에 전기장 또는 자기장을 처리하면 처리강도와 처리시간에 따라 발아율이 다르게 나타남을 보고하였는데, 8~10 kV에서 약 30~45 초, 3~10 Gauss에서 약 60 초간의 처리 강도 및 시간을 노출시 발아율이 높은 것으로 보고하였다. 이는 외부의 전기장과 자기장이 생물체내 세포의 이온과 유극성 물질을 활성화시키므로 전기장과 자기장을 처리하면 종자의 발아율이 향상되고 농작물의 질병에 대한 저항이 증가함을 보고하였다. Choi 등(2005) 연구에 의하면 전기장을 처리한 양파종자의 발아율은 무처리군에 비해 6~10% 증가하였으며, 특히 10 kV 처리군에서는 약 90%로 높게 나타났다고 보고하였다. 자기장을 처리한 양파종자의 발아율은 73~88%이었으며, 4

Gauss 처리군에서 높게 나타났다. 전기장 및 자기장 처리는 종자 내의 단백질과 효소의 활성을 촉진하여 발아율이 증가되는 것으로 알려져 있지만(Park et al., 2000), 그 작용 기작은 아직까지 정확히 밝혀지지 않았다. Lee 등(1998)은 저선량 감마선을 고추종자에 처리하면 100~400 rad 조사구에서 발아율과 생육이 촉진되었으나 2400 rad 이상에서는 억제되었다. 또한, 전기 자극을 처리하면 종자의 발아와 생장 촉진에 효과를 얻어 딸기 수확량을 2배, 보리의 수확량을 약 35% 증가시키는 연구가 보고되었다. 식물은 외부 자극, 즉 환경의 변화에 대해 반응하여 생리와 형태 형성 유발에 영향을 크게 받고 있다(Tompkins and Bird, 1972). 특히, 물리적 자극은 줄기 직경의 증대 및 종자 발아 촉진, 양분 흡수력 및 생육 촉진, 체내 화학성분의 변화에서 오는 병충해 발생 억제 그리고 당도의 증가 등이 보고되었다. Spillane(1986)은 식물체에 가해지는 자극이 전기적 신호로 전해지면 세포내 방어기작이나 생리활성작용을 일으킬 수 있다고 보고하였다. 모든 생물학 유기체들이 수용체나 자극기전에 의해 화학적인 신호를 자각하므로 식물 세포는 여러가지 물리학적 자극에 대해서 막전위가 변하는 초기 반응을 보이기 때문에 식물의 뿌리에서 이온을 흡수하고 방출하는 데에는 전기적 환경이 중요하다고 보고하였다.

이와 같은 결과를 볼 때, 종자의 전류자극 및 전자기장 처리는 자극의 조건과 노출시간에 따라 종자의 발아율 및 생육을 증가시키는데 효과적인 방법으로 판단된다. 하지만, 국내에서는 종자발아에 대한 많은 연구에도 불구하고, 발아율 제고와 관련한 물리적 자극에 대한 종자발아의 효율적인 연구가 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 생산된 현미의 발아제고를 향상시키기 위하여 전류자극과 전기장 처리가 현미의 발아율과 생육에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

본 실험에 사용된 현미는 2006년산(품종: 동진)으로 전남 장성 진원농협 미곡처리장에서 구입하여 5°C로 유지되는 저온 저장고에 보관하면서 실험하였다. 시료는 배아가 모두 붙어있는 정선된 현미만을 사용하였다. 현미의 함수율 측정은 FD-600(Kett 600, Japan)을 이용해 100°C에서 60 분 조건으로 측정하였다. 현미의 초기 함수율은 14.3±1%이다.

나. 실험 장치

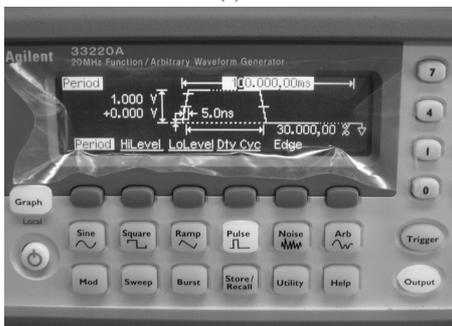
1) 전류자극 실험장치

그림 1의 (a)와 같이 항온습습기(Temp-Humidity Test Chamber, DASOL Scientific Co. Korea)에서 Petri-dish에 6시간

침지한 현미 시료를 반침지 대기발아 상태로 놓고 수분유지를 위하여 12시간 간격으로 1차 증류수를 공급하였다. 그림 1의 (b)는 본 연구에서 사용한 전기자극 발생장치로서 Agilent사의 함수 발생기(Agilent 33220A 20 MHz Function/Arbitrary Waveform Generator, Agilent Technologies Inc., USA)를 사용하였다. 발아된 현미 유아의 길이는 디지털 버니어캘리퍼스(CD-15CD, Mitutoyo Co, Japan)를 사용하여 12시간마다 측정하였다. 전류자극 처리군과 대조군의 실험은 항온항습기에서 상온 25°C, 상대습도 90% 조건으로 실험하였다. 발아실험은 AOSA(Association of Official Seed Analysts, 1993) 기준에 의하여 실시했으며, Petri-dish(직경: 90 mm, 높이: 15 mm) 바닥에 여과지(TY2, Advantec Co., Japan)를 1장씩 깔았다. 또한, 본 연구에서는 전류자극 처리 방법으로 첫 번째는 일정한 전압을 공급하였고, 두 번째 방법으로는 함수 발생 파형 중 펄스파(pulse wave) 전압을 각각 이용하였다. 그림 1의 (b)와 같이 펄스 파형은 주기, 펄스폭, 상승 구간 및 하강 구간으로 이루어진다.



(a)

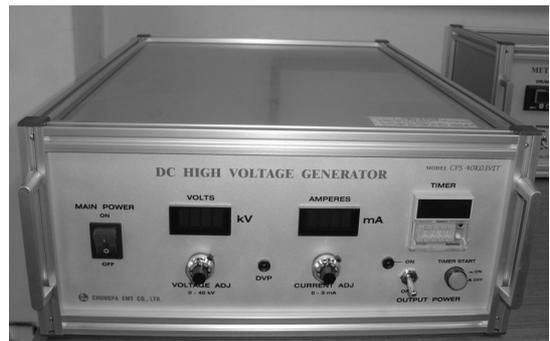


(b)

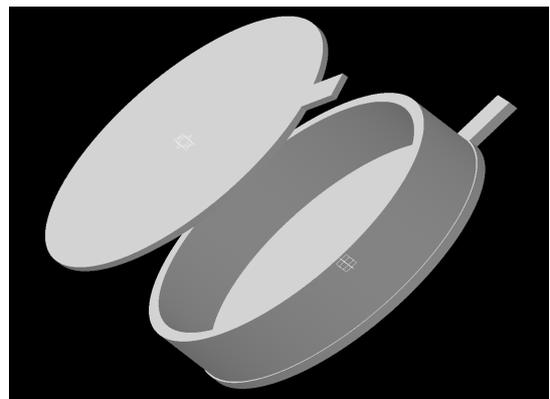
Fig. 1 A photograph of an apparatus for electric current stimuli in the temperature & humidity test chamber. A photo of an apparatus for electric current stimuli (a); A photo of pulse waveform of a functional generator (b).

2) 고전압 전기장 실험장치

본 연구에 사용된 고전압 발생장치(CPS40K03VIT, Range: 0~40 kV, Chungpa EMT Co., Korea)의 사진과 장치모델의 규격 상세 사항은 그림 2와 표 1에 나타내었다. 고전압 발생 장치는 입력 전원부, 전압 변환부, 고전압 전원부, 출력전압 조절부, 출력전압 표시부로 구성된다. 고전압 발생장치의 입력 전원부는 일반 전원인 단상 교류전압 220 V를 사용하며, 전압 변환부는 220 V 교류전압을 직류전압 24 V로 변환해 준다. 변환된 전압은 DC 24 V이고, 전류는 1.5 A이다. 고전압 전원부는 변환된 24 V 직류전압을 증폭하여 고전압을 발생시키는 장치로 최대 출력 전압은 40 kV이고 최대출력 전류는 3 mA이다. 본 연구에서 사용된 고전압 전기장 실험 장치의 출력전압 조절부는 0 V에서 40 kV까지 고전압 출력을 조절할 수 있도록 구성하였다.



(a)



(b)

Fig. 2 The appearance of a DC high-voltage generator for the germination treatment of brown rice in the electrical field (a) and the sample container (b).

Table 1 Specification of a DC high-voltage generator

Model	Output Voltage	Dimension(mm)			Output Current	Ripple
		Depth	Length	Width		
CPS-40K03VIT	0~40 kV	190	500	405	0~3 mA	0.05% (Max. output)

다. 실험 방법

1) 전류자극 및 고전압 전기장 처리 실험

전류자극 및 고전압 전기장 처리가 발아촉진 및 생육에 미치는 영향을 구명하기 위해서 세 가지 형태(Type I, II, III)의 발아 실험을 실시하였다(Fig. 3). Type I은 전류 자극을 가하면서 72시간 동안 Petri-dish에서 반침지 대기발아를 시킨 방법이고, Type II는 펄스파의 전류 자극을 가하면서 72시간 동안 반침지 대기발아를 한 방법이며, Type III는 시료를 고전압의 전기장에서 일정시간 노출시킨 후, 60시간 동안 침지 발아시키는 방법이다.

가) 전류 자극

연속적인 전류 자극이 발아촉진에 미치는 영향을 구명하기 위해서 전압은 0.13 V/cm, 0.19 V/cm, 그리고 0.25 V/cm가 되도록 Agilent 33220A를 사용하여 조정하였다. 특히, 0.25v/cm 이상에서 싹성장 효과와 발아율에 있어서 저하됨을 관찰한 바, 실험 범위를 0.25 V/cm 이내로 실험하였다. 그리고 정밀

한 온습도를 유지하게 위해 항온항습기(온도 25°C, 습도 90%)에서 전류 자극 실험을 진행하였다. 전류자극을 위한 실험군은 Petri-dish에서 현미가 잘 자라고 수분이 일정하게 유지되도록 탈지면과 거름종이를 밑에 깔았다. 그리고 3차 증류수 20 ml를 Petri-dish에 일정하게 공급 후, 현미 100립을 5줄로 일정하게 배열하였다. 그리고 전선을 현미 양쪽에 배치하여 전류가 일정하게 현미를 흐를 수 있도록 하였다. 그 전선에 함수발생기를 연결하여 전압을 발생시키게 한 뒤에 Petri-dish의 뚜껑을 닫고 항온항습기에 배치한 후 약 72시간이 지난 후 버니어 캘리퍼스를 이용하여 현미가 발아된 길이를 측정하였다. 그림 5의 (a)는 본 실험의 전류자극 처리 방법을 나타낸다.

나) 펄스파 전류 자극

자극패턴에 따른 종자 발아의 영향을 구명하기 위해서 본 연구에서는 함수발생기를 사용하여 펄스파의 전류 자극을 현미에 가하였다. 펄스파 전류 자극을 위한 실험군의 실험방법 및 온습도 조건은 앞의 전류자극 실험 조건과 동일하다. 본

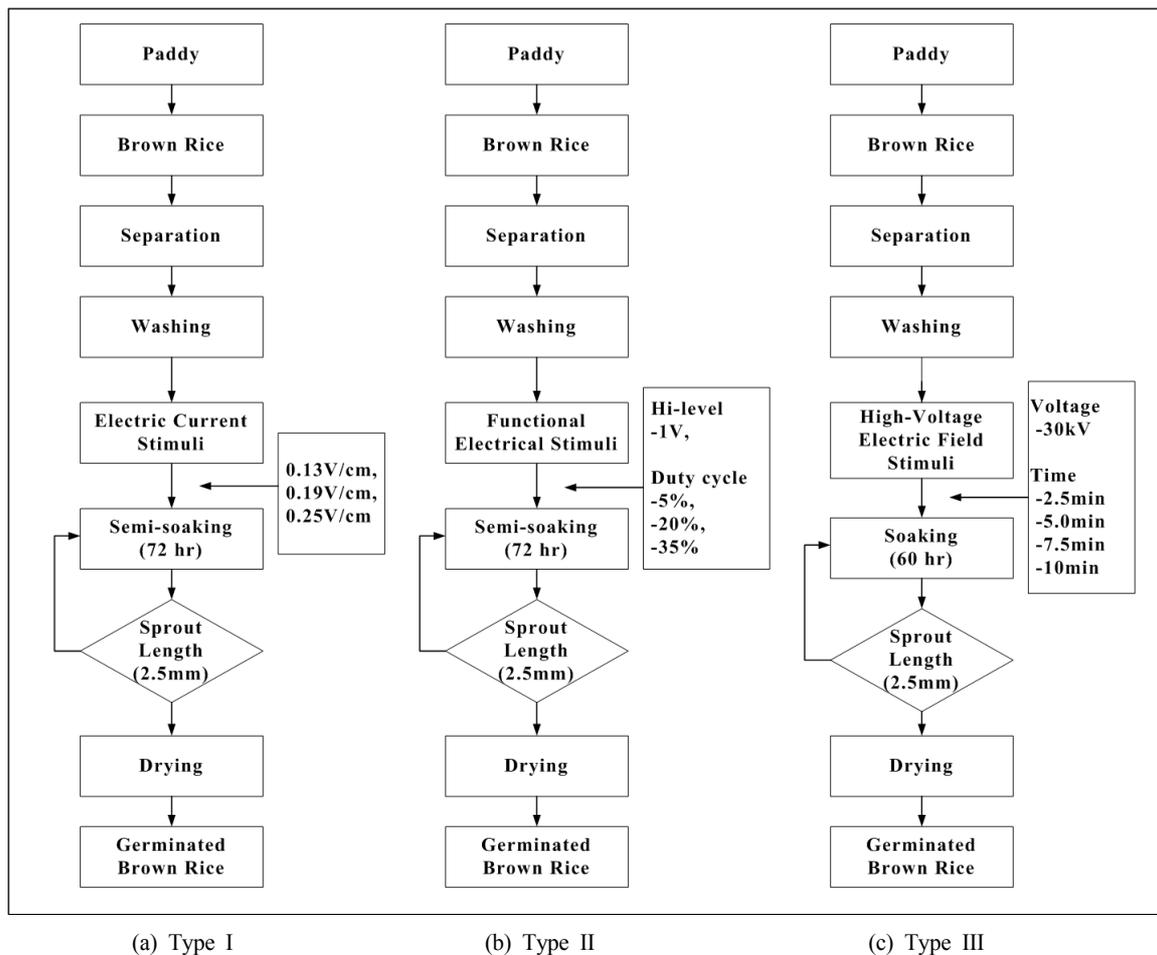


Fig. 3 Flow chart for germination tests of brown rice; type I: semi-soaking in Petri-dishes for 72 hours with electric current stimuli, type II: semi-soaking in Petri-dishes for 72 hours with electrical current stimuli of pulse type, type III: soaking in petri-dish for 60 hours with high-voltage electric field stimuli.

연구에서 사용된 펄스파형의 출력 조건으로는 주파수 1 Hz, 진폭설정 Hi-level 1 V, Low-level 0 V 그리고 듀티사이클 (Duty Cycle) 5%, 20%, 35%로 각각 설정 후 실험하였다. Petri-dish에 두 전극간의 거리를 5 cm로 고정하고, 그 사이에 현미를 100립 규칙적으로 배열한 후 72 시간동안 12 시간 간격으로 현미의 발아율과 싹 성장길이를 측정하였다. 특히, 펄스파의 듀티 사이클은 방형파가 하이 레벨에 있을 때의 사이클당 시간을 의미하고, 펄스 듀티 사이클은 그림 4와 식 (1)로 정의한다.

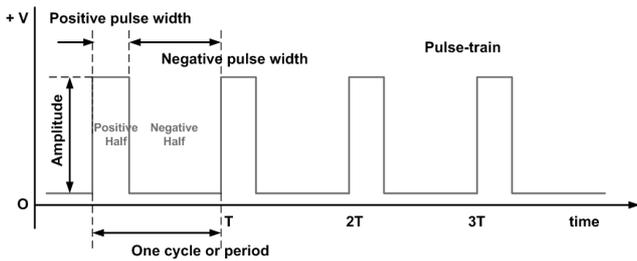


Fig. 4 Features of a pulse waveform used in a function generator.

$$Duty\ cycle = \frac{Width\ of\ pulse}{Cycle} \times 100 \quad (1)$$

다) 고전압 전기장 처리

현미를 고압의 직류 전기장에 노출시켰을 때, 전기장 처리 효과가 현미침지 발아 시 발아의 생육에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 현미에의 전기장 처리는 그림 2(a)에 나타난 직류고압 발생기를 사용하여 실험하였다. 본 연구에서 실험한 직류전압은 30 kV를 사용하였으며 처리 시간은 2.5 분,

5.0 분, 7.5 분, 10.0 분으로 각각 실험하였다. 그리고 단열 처리된 두 전극판 간의 거리는 2 cm로 고정하였다. 실험시의 온도는 25°C, 상대습도는 85%이었다. 그림 5의 (b)는 본 실험의 고전압 전기장 처리 방법을 나타낸다.

라) 대조군

대조군은 실험군과 동일하게 Petri-dish에서 현미가 잘 자라고 수분이 일정하게 유지되도록 탈지면과 거름종이를 밑에 깔아 구성하였다. 그리고 3차 증류수 20 ml를 실험군과 동일하게 설정하고 현미를 그 위에 일정하게 배열하였다. 실험군과 같은 환경을 조성한 후 대조군에서는 전압을 가하지 않았다.

2) 발아율 및 싹 길이 측정

발아시험은 AOSA(Association of Official Seed Analysts, 1993)기준에 의하여 실시했다. 발아개체 판정은 싹(sprout, 유아)의 돌출이 육안으로 판별된 것으로 하였다. 현미의 성장은 현미 100립의 싹 길이를 각각 측정하여 평균값으로 계산하였다. 발아실험은 모든 처리 당 3회 반복하였다.

라. 통계처리

현미 발아 촉진에 주는 영향을 구명하기 위해서 시간대별로 각 처리에 따른 성장 길이를 통계 처리하였다. 실험을 통해 측정된 싹의 길이는 SAS(Ver. 8.02, Statistical Analysis System, U.S.A)를 이용하여 통계분석 하였다. 통계분석은 분산분석(ANOVA)를 이용하여 유의성 검증을 하였다. 이때 종속변수는 성장 길이, 발아율 각각의 처리들은 독립변수로 하여 일원분산을 분석하였다.

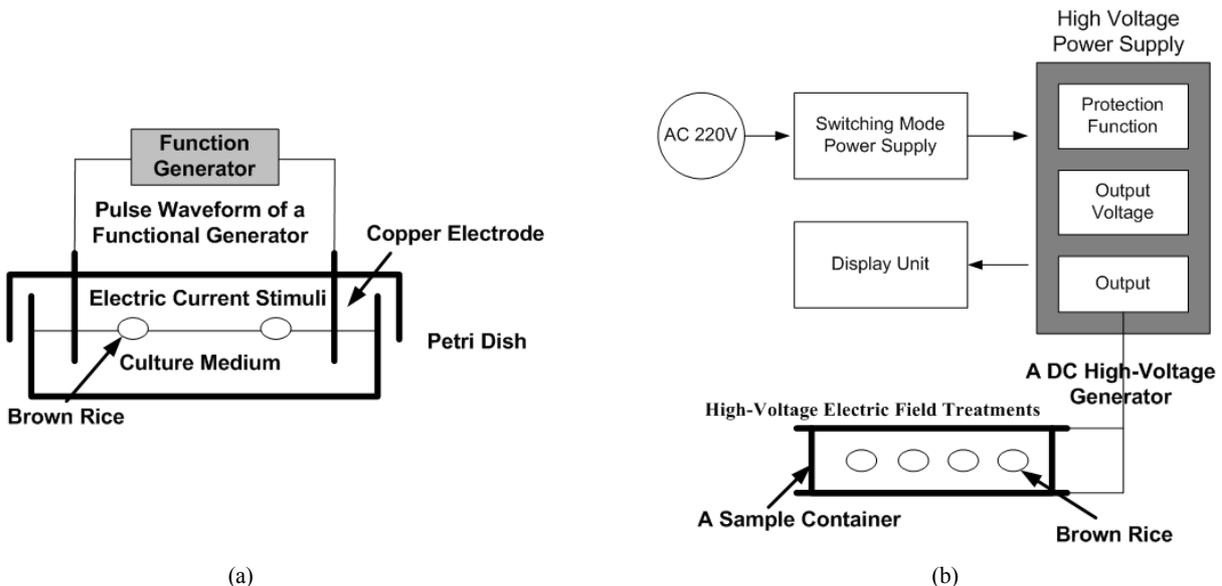


Fig. 5 Experimental design for electric current stimuli (a) and high-voltage electric field treatments (b) on brown rice germination.

3. 결과 및 고찰

가. 전류 자극 (Type I)

1) 전류 자극의 발아율 효과

전류 자극의 발아율 효과는 그림 6과 같다. 그림 6은 72시간이 지난 후의 현미의 발아율을 나타낸 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 전류 자극을 가한 실험군이 대조군에 비해 발아율의 효과가 모든 실험군에서 약 10~15% 높게 나타났다 ($p < 0.05$). 특히, 전류 자극 실험군 중 0.25 V/cm 조건에서 가장 유의한 차이를 나타냈다.

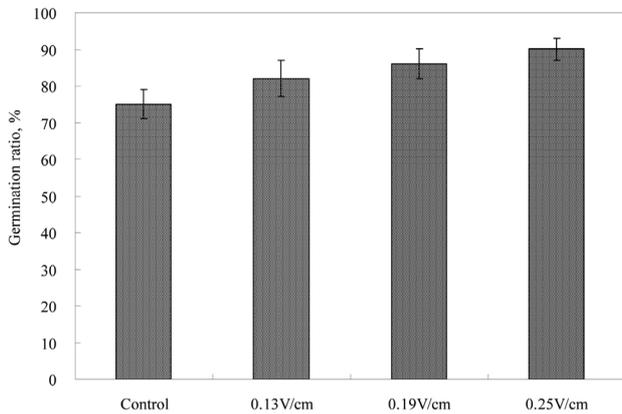


Fig. 6 Effects of electrical current stimuli on the germination ratio of seeds (brown rice) by type I.

2) 전류 자극의 싹 성장 효과

전류 자극의 싹 성장 효과는 그림 7과 같다. 그림 7은 72시간이 지난 후의 현미의 싹 성장 길이를 측정된 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 전류 자극을 가한 실험군이 대조군에 비해 발아율의 효과가 모두 증가함을 보였다 ($p < 0.05$). 전류 자극 실험군 중 0.25 V/cm 조건에서 발아율과 싹 성장의 효

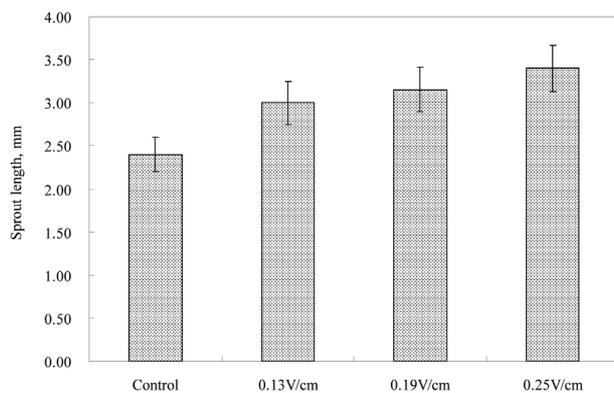


Fig. 7 Effects of continuous electrical current stimuli on the sprout length of brown rice by type I.

과가 가장 크게 유의한 차이를 나타냈다. 전류 자극의 싹 성장 효과는 대조군에 비해서 싹 성장 길이가 약 15~20% 높게 나타났다. 이러한 성장 촉진 효과는 전류 자극의 물리적 처리가 생물체내 세포의 이온과 유극성 물질을 활성화시키므로 종자의 발아율 및 싹 성장을 향상시키는 것으로 사료되었다.

나. 펄스파 전류 자극 (Type II)

1) 펄스파 전류 자극의 발아율 효과

펄스 파형의 간헐적인 전류 자극이 현미 발아율에 미치는 효과는 그림 8과 같다. 그림 8은 12시간 간격으로 측정된 72시간 동안의 발아율을 나타낸 결과이다. 펄스파 전류 자극 조건 중 5%의 듀티사이클에서 발아율의 촉진 효과가 가장 크게 나타났다. 특히, 36 시간, 48 시간, 60 시간에서 자극의 효과가 뚜렷이 나타났으며, 5% 듀티사이클의 펄스파 전류 자극을 처리한 실험군이 대조군에 비해서 약 10~15% 발아율 촉진 효과를 보였다 ($p < 0.05$). 하지만, 듀티사이클의 비율을 20%, 35%로 높게 처리하였을 때에는 약 36 시간 이후부터 현미의 발아율에 역효과가 나타남을 관찰하였다.

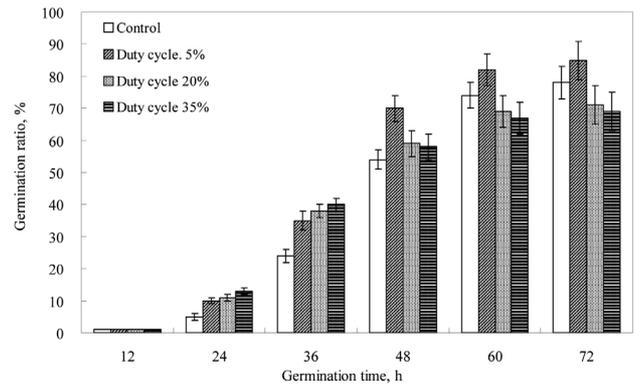


Fig. 8 Effects of electrical current stimuli of pulse waveform using a function generator on the germination ratio of brown rice by type II.

2) 펄스파 전류 자극의 싹 성장 효과

전류 자극의 펄스파형을 이용한 싹 성장 효과는 그림 9와 같다. 그림 9는 12시간 간격으로 72시간 동안의 싹 성장 길이를 나타낸 결과이다. 펄스파 전류 자극 조건 중 5%의 듀티 사이클에서 싹 성장의 촉진 효과가 가장 크게 나타났다. 발아율과 마찬가지로 36 시간, 48 시간, 60 시간에서 자극의 효과가 뚜렷이 나타났다. 특히, 5% 듀티 사이클의 펄스파 전류 자극을 처리한 실험군이 대조군에 비해서 약 10~15% 싹 성장 촉진 효과를 보였다 ($p < 0.05$). 하지만, 듀티 사이클의 강도를 20%, 35%로 높게 처리하였을 때 약 48시간 이후부터 싹 성장에 역효과가 나타남을 관찰하였다. 이는 적정 이상 자극을 주면 곡립 내부 온도 상승에 따라 생체조직 손상으로 성장촉

진 효과가 줄어드는 것으로 사료되었다.

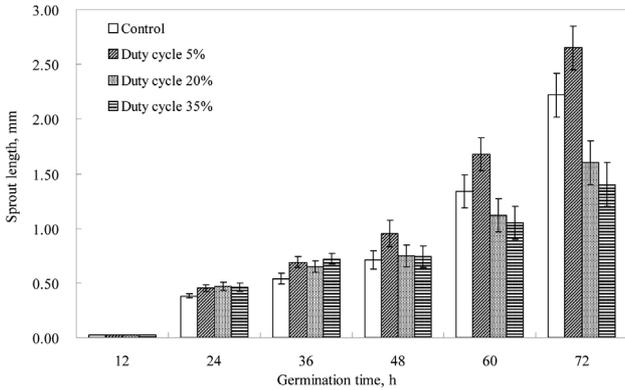


Fig. 9 Effects of electrical current stimuli on the sprout length of brown rice by type II.

다. 고전압 전기장 처리 (Type III)

1) 고전압 전기장 처리의 발아율 효과

전기장 처리가 현미발아에 미치는 영향을 조사하기 위해 30 kV의 직류전압으로 현미 시료에 2.5분, 7.5분, 10분 각각 고전압의 전기장을 처리하였다. 고전압의 전기장 처리를 이용한 발아율 효과는 그림 10과 같고, 12시간 간격으로 측정 한 72시간 동안의 발아율을 나타낸 결과이다. 각각의 전기장 처리 중 10분간 전기장을 현미에 자극하였을 때 발아율이 약 대조군에 비해 10~15% 촉진되었다($p < 0.05$). 또한, 고전압의 전기장 처리시 10분, 7.5분, 그리고 2.5분 순으로 현미의 발아에 영향을 주는 것으로 나타났다.

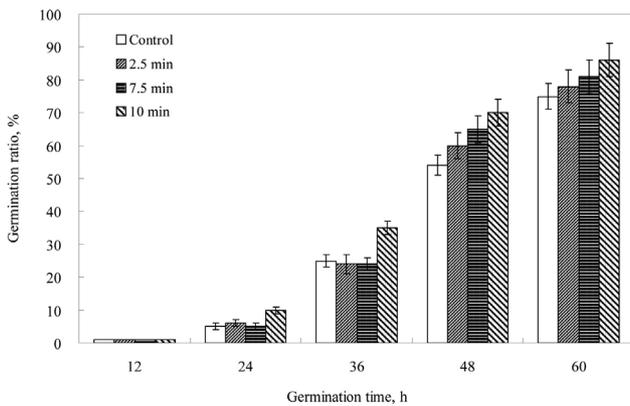


Fig. 10 Effects of high-voltage electric field treatments on the germination ratio of brown rice by type III.

2) 고전압 전기장 처리의 싹 성장 효과

고전압 전기장 처리를 이용한 현미의 싹 성장 효과는 그림 11과 같다. 그림 11은 12시간 간격으로 72시간 동안의 싹 성장 길이를 나타낸 결과이다. 실험 결과, 현미의 발아 길이가

1 mm가 되기 전에는 각 처리 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 48 시간이 지나면서 10분, 7.5분, 그리고 2.5분 순으로 현미의 생육에 크게 영향을 주었다. 특히, 10분을 처리한 실험군은 대조군에 비해 약 20~25%의 싹 성장 촉진 효과를 보였다($p < 0.05$).

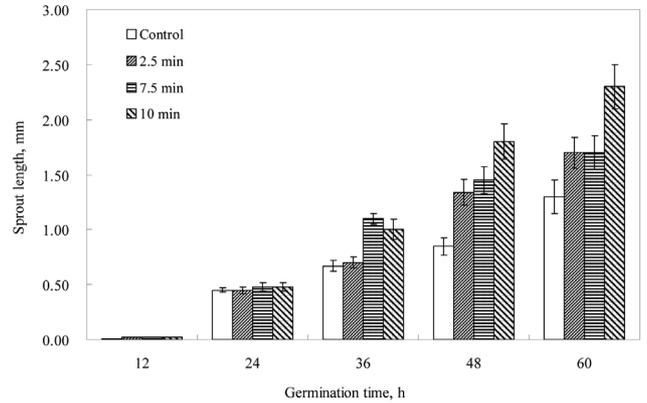


Fig. 11 Effects of high-voltage electric field treatments on the sprout length of brown rice by type III.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 현미의 전류자극, 펄스파의 전기자극 그리고 고전압의 직류 전기장에 노출시켰을 때 현미의 발아율과 싹 성장 촉진에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 전류 자극 (0.13 V/cm, 0.19 V/cm 그리고 0.25 V/cm) 조건에서 처리를 하였을 때, 전류자극을 가한 실험군이 대조군에 비해 발아율이 모든 실험군에서 약 10~15% 높게 나타났으며 싹 성장률은 15~20%의 성장 촉진 효과를 보였다.
- (2) 펄스파의 전기 자극(주파수 1Hz, 진폭설정 Hi-level 1V, Low-level 0V, 듀티사이클 5%, 20%, 35%)을 실험한 결과, 듀티사이클 5% 조건에서 현미의 발아율과 성장률이 약 10~15% 증가해 빠른 성장 촉진 효과를 나타내었다. 그러나, 자극 강도가 클수록 발아율, 싹 성장에 역효과를 미치는 것으로 판단되었다.
- (3) 고전압의 직류 전기장 처리 실험 결과, 현미의 싹 성장에 미치는 영향은 10.0분, 7.5분, 2.5분 순으로 자극 시간을 적용시 가장 효과가 좋았다. 특히, 10분 전기장 처리시에 현미의 싹 성장이 약 20% 촉진되었다.
- (4) 전류자극 및 고전압의 직류 전기장 처리는 발아 초기의 휴면 타파에 효과적이어서 현미 발아율은 약 10~15%, 싹 성장률은 약 10~20%씩 각각 증가시켰다. 이 두 종류의 처리 효과가 현미 발아율과 싹 성장률에 비

숫하게 나타났으나 처리의 간편성을 볼 때 고압전기장의 처리가 더 나을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Adams, R. 1999. Germination of callitris seeds in relation to temperature water stress, priming and hydration-dehydration cycles. *Journal of Arid Environments* 43(4):437-448.
2. AOSA. 1993. Association of official seed analysis. Rules for testing seeds. *Journal of Seed Technology* 16:1-13.
3. Bevilacqua, L. R., F. Fossati and G. Dondero. 1987. 'Callose' in the impermeable seed coat of *sesbania punicea*. *Annals of Botany* 59:335-341.
4. Choi, C. L., D. J. Kwak, M. Park, K. S. Song, I. K. Rhee, J. E. Kim, j. Choi, Jyung and D. H. Lee. 2005. Effect of chemical treatments and electric and magnetic field treatments on germination of onion seeds. *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 38(2):78-78. (In Korean)
5. Juliano, B. O. and D. B. Bechtel. 1985. The rice grain and its gross composition. *Rice Chemisry and Technology*. p. 17. The American Association of Cereal Chemists Inc., Minesota, USA.
7. Kim, S. S. and W. J. Lee. 1997. Characteristics of germinated rice as a potential raw materials for Sikhe production. *Korean Journal of Food Science & Technology* 29(1):101-106. (In Korean)
6. Kum, J. S., B. K. Choi, H. Y. Lee, J. D. Park and H. J. Park. 2004. Physicochemical properties of germinated brown rice. *Korean Journal of Food Science & Technology* 11(2): 182-188. (In Korean)
8. Lee, E. K., J. S. Kim, Y. K. Lee and Y. B. Lee. 1998. The acceleration of germination in welsh onion seed irradiated with low dose-ray radiation. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 17:346-351.
9. Lee, E. S., S. Y. Kim and K. J. Kim. 1987. Studies on optimum temperature for sprouting and breaking dormancy in potato cultivars for processing. *Journal of Korean Society for Horticultural Science* 28:226-232. (In Korean)
10. Moon, J. D. and H. S. Chung. 2000. Acceleration of germination rate of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. *Journal of Electrostatics* 48(2):103-114.
11. Obolensky, G. 1953. Stimulation of plant growth by ultrasonic waves. *Radio-Electronis* 7:60-80.
12. Okaaki, N., N. Yanai and K. Hishinuma. 1978. Control of the germination of secondary dormant cocklebur seeds by various germination stimulants. *Plant and Cell Physiology* 19(8):1497-1506.
13. Park, C. S, D. S. Lee, J. T. Kim, B. T. Kim and S. M. Lee. 2000. The effect of magnetic field on the plant seed sprout. *Journal of the Korean Jungshin Science Society* 4(2):17-22. (In Korean)
14. Spillane. M. 1986. A Sound Diet for Plants. *Bulletin of Sonic Bloom Co.*
15. Tompkins, P. and C. Bird. 1972. *The Secret Life of Plants*. Harper & Row, Publishers Inc., New York, USA.
16. Woo, Y. H. and J. M. Lee. 1985. Germination of spinach seeds as influenced by cultivar, seed size, seedcoat removal, and some environmental conditions. *Journal of Korean Society for Horticultural Science* 26:239-245. (In Korean)