

## 低温에서 볍씨發芽에 미치는 滲透處理 效果

景垠先\* · 金鎮淇\* · 玄東允\*\*

## Effect of Osmopriming on Rice Seed Germination in Low Temperature

Eun Seon Kyeong\* · Jin Key Kim\* and Dong Yun Hyun\*\*

**ABSTRACT** : To improve the germination performance of rice seeds under suboptimal temperature, osmopriming with PEG-6000 was examined. Optimal PEG-6000 concentration to improve germination was 20% PEG-6000 solution, and rice cultivars used in this experiment were Sinunbongbyeo, Gancheokbyeo, Dongjinbyeo. The water content of seeds after soaking for 60 hours in the PEG solution is similar to that of seeds after soaking for 24 hours in the distilled water. Germination performance of the soaked seeds in the PEG solution was higher than that of the soaked seeds in the distilled water or the control, especially under suboptimal temperatures. Electrical conductivity of the soaked seeds in the PEG solution was lower than that of the soaked seeds in the distilled water or the control, and total dehydrogenase activity of the soaked seeds in the PEG solution was higher than that of the soaked seeds in the distilled water or the control. SDS-PAGE results of soluble protein from the embryos of seeds primed differently showed darker band in the seeds soaked in the PEG solution than the seeds soaked in the distilled water or the control at the 68 KD region. Also, band patterns of peroxidase and esterase of embryos soaked in the PEG solution were darked than that of embryos soaked in the distilled water or the control at the Rf 0.94 and Rf 0.87, respectively.

**Key word** : Osmopriming, Electrical conductivity, Dehydrogenase activity, SDS-PAGE, Peroxidase, Esterase

저온에서 종자발아와 幼苗出現을 높이기 위해 그동안 여러가지 방법의 種子 前處理가 있었다<sup>4)</sup>. 그 대표적인 방법으로는 種子硬化<sup>9,10)</sup>, 염수중침지<sup>5,22)</sup>, 포화 상대습도의 공기 중 흡습<sup>8,20)</sup>, PEG 용액에서 흡습<sup>12,13)</sup> 등이 있는데, 이중 특히 PEG는 毒性이 없으며 종자에 처리할 경우 幼植物의 활력이 증진

되고 立苗가 용이하다<sup>6)</sup>고 알려져 있다.

또한 파종 전 종자에 PEG를 처리하면 발아하는데 걸리는 시간을 앞당기고 발아의 均一성과 生産량을 늘리며<sup>6,11,14,17)</sup>, 저온이나 염수 중에 耐性이 있다<sup>18,19)</sup>고 보고되고 있다.

지금까지의 많은 보고에 의하면 PEG 처리에 의

\* 全北大學校 農科大學(College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju 560-750, Korea)

\*\* 湖南作物試驗場(Honam Crop Experiment Station, Iri 570-080, Korea)

<94. 8. 3 接受>

한 발아율의 증진은 발아대사의 촉진과 세포막의 회복에 연결지어 설명되고<sup>3,4,7,23</sup>, 처리효과는 침지 후 종자를 건조시키지 않는다면 단순히 수분흡수의 3단계 중 2단계인 흡수 정지기의 감소에 그 원인이 있다<sup>2)</sup>고 한다.

PEG를 통한 發芽勢 增進의 생리적인 근거는 종자의 부분적인 수분흡수와 제한적이고 통제적인 수분흡수를 통하여 종자로부터 침출을 막으면서 세포막의 회복을 증진시킨다<sup>19)</sup>는 것이다. 한편 PEG 처리효과는 작물에 따라 달라서 비교적 소립인 채소나 화훼종자에서는 처리효과가 있었으나<sup>13, 14)</sup>, 오이나 멜론종자에서는 그 효과를 보지 못했다<sup>13,22)</sup>.

최근 省力栽培의 일환으로 벼 직파재배에 대한 관심이 높아지고 있는데 직파재배시 파종기에 온도가 낮으면 발아가 불량하고 입묘율이 낮아서 穗數確保에 어려움이 있는데, 묘의 초기신장은 저온 발아성과 정의 상관관계가 있다<sup>24)</sup>고 하였다.

본 실험은 파종 전 범씨종자에 PEG를 처리할 경우 저온 발아에 미치는 정도를 알아보고 PEG 처리에 의한 저온 발아성의 생리 화학적 원인 규명에 접근하고자 실시하였다.

## 材料 및 方法

공시 범씨종자는 호남작물시험장에서 92년산 신운봉벼(조생종), 간척벼(중생종), 동진벼(중만생종)를 분양받았다. 종자처리는 증류수에 침지시켜 20±1℃의 항온기에서 24시간 두거나(DW-24), 滲透調節劑인 polyethylene glycol[HO-CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-OH]-6000을 증류수에 용해시켜 20%의 농도로 만든 다음 20±1℃의 항온기에서 60시간 침지(PEG-60)시킨 후 증류수로 깨끗이 씻은 다음 25±1℃의 항온기에서 24시간 건조시킨 후 실험재료로 사용하였다.

### 1. 水分含量

처리한 종자의 수분함량 측정은 증류수와 PEG 용액에 각각 24, 60시간 침지한 후 꺼내어 종자 표면에 남은 수분을 제거한 다음의 100粒重에서 80

℃의 dry oven에 48시간 건조시킨 직후의 乾燥重을 빼서 침지 전의 100粒重에 대한 백분율로 나타내었다.

### 2. 發芽率(Germination percentage:GP), 平均發芽時間(Mean germination time:MGT), 發芽速度指數(Promptness index:PI)

처리가 끝난 각 종자를 지름이 9cm인 발아접시에 여과지(Toyo No. 2) 2장을 깔고 처리당 50립씩 3반복으로 치상하여 각각 10, 14, 18±1℃의 항온기에 두어 24시간 간격으로 발아된 수를 조사하여 7일 후 총 발아된 수를 합산하였다.

평균발아시간과 발아속도지수는 각각 Edward(1934), Timson(1965)의 식에 따랐다.

$$\text{평균발아시간(MGT)} = \frac{\sum(t_i \cdot n_i)}{\sum n_i}$$

$$\text{발아속도지수(PI)} = \sum[n_i \cdot (T+1-t_i)]$$

$t_i$  : 치상 후 조사일수     $n_i$  : 조사 당일의 발아수  
 $\sum n_i$  : 총 발아수         $T$  : 총 조사일수

### 3. 電氣傳導度 및 脫水素酵素 活性

지름이 2cm인 시험관에 증류수 25ml를 채운 다음 각 처리 종자를 30립씩 3반복으로 25±1℃에서 24시간 침지시킨 다음 그 용액의 전기전도도를 electroconductivity meter(Corning 220)로 측정하였다.

탈수소효소 활성은 처리한 각 종자 중 類를 제거한 종자 10粒을 1% TTC(2, 3, 5-triphenyl tetrazolium chloride)용액에 24시간 침지, 發色시킨 후 5ml 2-methoxyethanol로 붉은색의 formazan를 抽出하여 spectro-photometer로 520nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 4. SDS-PAGE 電氣泳動

시료는 처리가 끝난 종자 중 30개를 골라 영을 제거한 다음 배만 조심스럽게 분리하였다. 분리한 배는 추출 緩衝液(25mM HEPES, 4mM DTT, 1mM Na<sub>2</sub>-EDTA, 1% PVP) 2ml를 넣고 유발에 충분히 마쇄하여 4℃에서 50분간 13,000rpm으로 遠心分離한 다음 그 上澄液 1ml를 취해서 -40

℃의 凍結乾燥機에 12시간 濃縮시킨 다음 0.5ml sample buffer(25ml Tris-SDS stock, 2g SDS, 10ml Glycerol, 5ml 2-Mercaptoethanol, 1% 0.1 ml Bromophenol blue)를 유리관에 넣고 끓는 물에 2분간 담구어 단백질을 완전히 분해했다.

Polyacrylamide gel 전기영동은 垂直式 slab gel 전기영동 장치를 이용하였으며 discontinuous buffer system에 따라 resolving gel buffer는 Tris-HCl(pH 8.8)을, stacking gel buffer는 Tris-HCl(pH 6.8)을 사용하였고 electrode buffer는 Tris-glycine(pH 8.3)을 사용하였다. 표준 단백질은 Sigma사 제품인 Dalton Mark VII-L™을 사용하였으며, 전류는 bromophenol blue가 stacking gel을 통과할 때까지는 20mA, resolving gel을 지날 때는 40mA를 각각 통하게 하였다. 染色은 Coomassie blue R 250으로 하였고, 泳動條件 및 脫色은 LKB 전기영동법에 따랐다.

### 5. Peroxidase 와 esterase의 isozyme

抽出緩衝液은 증류수 0.5ml를 사용하였고, gel은 SDS가 없는 polyacrylamide slab gel을 사용하였으며, 電氣泳動時 電源은 300volt를 유지하면서 2시간 30분동안 전기영동시켰다. 전기영동 후 염색은 다음과 같이 하였다.

#### Peroxidase

0 3-amino-9-ethylcarbazole	100mg
0 Na-acetate buffer(1M, pH 5.0)	20ml
0 Dimethyl formamide	5ml
0 Calcium chloride(0.1M)	4ml
0 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (3%)	1ml
0 H <sub>2</sub> O	140ml

#### Esterase

0 α-naphthyl acetate(1.5%)	1ml
0 Phosphate buffer(0.2M, pH 7)	100ml
0 Fast Blue RR salt	10ml

## 結果 및 考察

기존의 연구결과에 의하면 각 작물 종자의 活力

Table 1. Effects of PEG-6000 concentration on rice seed germination

Cultivar	PEG-6000 concentration(g/L)			
	0(24)	10(45)	20(60)	30(80)
	----- % -----			
Sinunbongbyeo	80.0	81.3	87.3	78.6
Gancheokbyeo	84.0	84.6	89.3	80.6
Dongjinbyeo	91.3	92.0	93.3	88.7

( ) :imbibition time in hour

Table 2. Water contents of primed seeds of three rice cultivars

Treatment	Water content(%)		
	Sinunbongbyeo	Gancheokbyeo	Dongjinbyeo
Control	11.20	10.87	11.23
DW-24	13.50	13.60	14.37
PEG-60	13.53	13.63	14.57
LSD <sub>0.05</sub>	0.24	1.84	0.34

增進을 위한 최적 PEG-6000의 농도는 각기 다르게 나타났다<sup>7,15)</sup>. 범씨종자에서 최고의 발아율을 얻기 위한 최적 PEG-6000의 농도를 알기위해 PEG 용액을 10, 20, 30%의 농도로 조절하여 발아율을 조사한 결과 표 1에서와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표 1에서 보면 3가지 품종에서 공통적으로 20% PEG 농도에서 비교적 높은 발아율을 보였으며 10%의 농도에서는 PEG 처리효과가 거의 없었고, 30%의 농도에서는 오히려 발아율이 떨어지는 경향을 보였다. 따라서 본 실험에서는 범씨종자의 발아 증진을 위한 최적 PEG 농도인 20%에 종자를 처리하였다.

한편, Huang<sup>15)</sup>에 의하면 樹木種子에서 PEG의 처리효과는 PEG 농도뿐만 아니라 PEG 용액에 침지할 때의 침지온도, 침지 후 탈수시간, 탈수시 온도에 따라서도 처리효과에 차이를 보인다고 하였는데, 범씨종자에서는 침지시간에 따라서 처리 효과에 차이가 있을 뿐 기타 요인에 의해서는 큰 영향을 받지 않는 것 같았다.

### 1. 水分含量

일반적으로 종자를 삼투조절제인 PEG 용액에 침지시켰을 경우 종자는 수분을 서서히 흡수하기

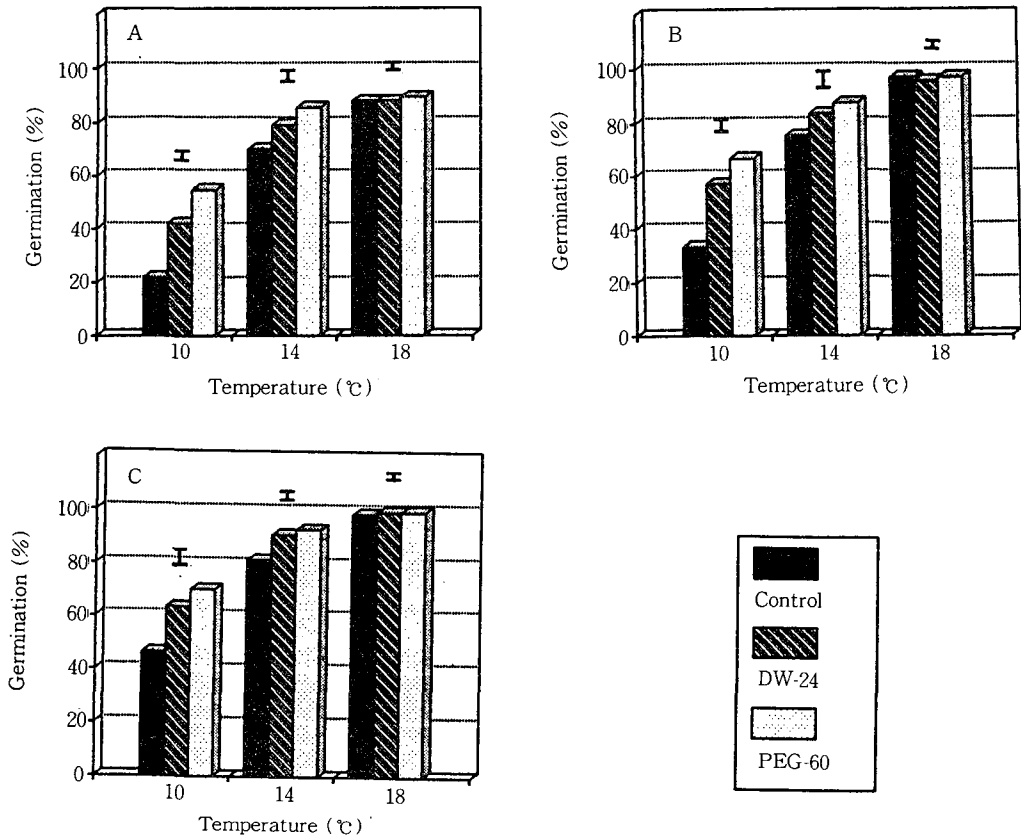


Fig. 1. Effects of priming treatment on germination percentage(GP) of three rice cultivars in suboptimal temperatures. Each indication above bars was  $LSD_{0.05}$ . A, B, and C stand for Sinunbongbyeo, Gancheokbyeo, Dongjinbyeo, respectively.

때문에 단순히 증류수에 침지시켰을 때보다 일정 함량의 수분을 흡수하는데 더 많은 시간이 소요되었다. 표 2와 같이 3가지 품종에서 약간의 품종간 차이는 있지만 공통적으로 증류수에 24시간 침지시켰을 때와 PEG 용액에 60시간 침지시켰을 때의 수분함량이 거의 비슷함을 확인할 수 있었다.

## 2. 발아율(GP), 평균발아시간(MGT), 발아속도지수(PI)

그림 1에서 발아 적온보다 낮은 10°C, 14°C 및 18°C의 온도에서 발아율을 보면 3품종 모두 PEG 처리효과가 공통적으로 나타났는데 온도에 따라서 그 차이 정도가 약간 다름을 볼 수 있었다. 즉, 18°C에서는 그 차이가 거의 보이지 않았으며 14°C에서는 품종간에 약간의 차이를 보였지만 전체적

으로는 처리효과를 인정할 수 있었으며, 10°C에서는 PEG 처리효과를 더욱 현저히 볼 수 있었다. 품종간에 있어서는 조생종인 신운봉벼가 간척벼나 동진벼에 비해 더 차이가 있었다. 이 품종간의 차이는 수분흡수에 있어서 조생종인 신운봉벼가 간척벼나 동진벼에 비해 약간 늦어지는 경향이 있는데 여기에 원인이 있지 않으나 생각된다.

표 3의 평균발아시간(MGT)과 발아속도지수(PI)에서도 그림 1의 발아율(GP)과 같은 경향을 보여 PEG 용액에 60시간 침지한 종자의 MGT는 증류수에 24시간 침지한 종자나 대조구의 MGT에 비해 그 값이 적게 나타났으며 온도가 낮아질수록 처리간의 차이 정도가 더욱 크게 나타났다. PI도 마찬가지로 온도가 낮아질수록 처리간에 그 증가 폭이 더욱 컸다.

### 3. 전기전도도 및 탈수소효소 활성

일반적으로 priming 처리는 종자가 성숙 후 건조에 의해 세포막이 損傷된 것을 치유시키고 priming 처리동안 종자를 정상적인 상태로 되돌아가게 한다<sup>7,21)</sup>고 알려져 있으므로 priming 처리는 종자가 다시 침지될 때 종자로부터 침출을 감소시키는 것 같다. 본 실험의 결과는 PEG로 삼투처리한 종자로부터 침출물의 양이 단순히 물로 처리한 것이나 무처리에 비해 적음을 나타내고 있다(표 4참조). 이렇게 감소된 電解質의 양을 정확히 설명하

기는 어려우나 PEG 용액에 60시간 침지하는 동안 종자내 전해질의 상당양이 이미 종자 밖으로 流出된 것으로 생각될 수도 있지만, 한편으로는 몇몇 보고<sup>26,27)</sup>에서와 같이 삼투처리하는 동안 종자의 세포막 구조가 더 緻密해져서 침출된 전해질의 양이 적어졌다고도 생각할 수 있다.

또한 종자 전체의 총 탈수소효소 활성은 종자의 활력을 대변하는 믿을만한 指標인데<sup>1)</sup>, 표 4에서 보면 3가지 품종에서 공통적으로 PEG 용액에 처리한 종자에서 탈수소효소 활성이 높게 나타나 처리 효과를 인정할 수 있었다.

Table 3. Effects of priming treatment on mean germination time(MGT) and promptness index(PI) of three rice cultivars in suboptimal temperatures

Treatment	10℃		14℃		18℃	
	MGT (day)	PI	MGT (day)	PI	MGT (day)	PI
Sinunbongbyeo						
Control	6.31	30.0	5.15	99.7	4.00	182.3
DW-24	5.42	73.0	4.61	132.3	3.99	182.0
PEG-60	4.88	91.3	4.35	146.3	3.98	183.3
LSD <sub>0.05</sub>	0.22	4.90	0.09	4.16	0.05	8.21
Gancheokbyeo						
Control	5.69	64.0	4.38	127.0	3.51	198.6
DW-24	4.55	101.3	3.99	156.0	3.52	197.6
PEG-60	3.96	126.0	3.77	171.3	3.51	198.6
LSD <sub>0.05</sub>	0.08	5.92	0.06	3.52	0.06	8.55
Dongjinbyeo						
Control	5.61	77.7	4.09	142.3	3.24	240.0
DW-24	4.39	119.0	3.60	175.0	3.24	240.0
PEG-60	3.91	142.3	3.44	190.3	2.23	241.3
LSD <sub>0.05</sub>	0.07	3.94	0.09	4.11	0.06	4.66

### 4. SDS-PAGE 電氣泳動

삼투처리 후 범씨종자의 배에 있는 가용 단백질 함량을 알기위해 배 부분만을 분리하여 전기영동하여 본 결과 그림 2와 같은 band를 볼 수 있었다. 3품종에 있어서 band상 濃淡程度에 약간의 차이가 있었지만 공통적으로 68KD부근에서 PEG 용액에 60시간 삼투처리한 종자가 증류수에 24시간 침지한 종자나 대조구에 비해 짙은 색을 띠었다. Sung<sup>25)</sup>은 옥수수종자에서 삼투처리한 배를 분리하여 전기영동하여 본 결과 band의 3부분에서 새로운 band를 관찰하였는데 본 실험의 범씨종자에서는 새로운 band를 볼 수 없어 이와는 다른 결과를 얻었다.

이와 같은 결과에서 생각해 볼 수 있는 것은 범씨종자에서 삼투처리의 효과가 옥수수종자보다는 적지 않았는가 하는 생각이 들고, 범씨종자를 삼투처리 할 경우 단순히 배의 신장을 향상시켜 발아를 하기 위한 준비 과정만을 진전시켰든지 혹은 다른 어떤 원인이 작용했을 가능성도 생각된다.

Table 4. Effects of priming treatment on electrical conductivity and dehydrogenase activity of three rice cultivars

Treatment	Electrical conductivity( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )			Dehydrogenase activity(OD 10seeds <sup>-1</sup> 10ml <sup>-1</sup> )		
	Sinunbongbyeo	Gancheokbyeo	Dongjinbyeo	Sinunbongbyeo	Gancheokbyeo	Dongjinbyeo
Control	34.7	64.1	47.2	0.46	0.48	0.53
DW-24	30.3	32.2	26.7	0.52	0.56	0.57
PEG-60	26.4	28.6	22.5	0.55	0.57	0.59
LSD <sub>0.05</sub>	3.75	1.88	2.60	0.018	0.022	0.019

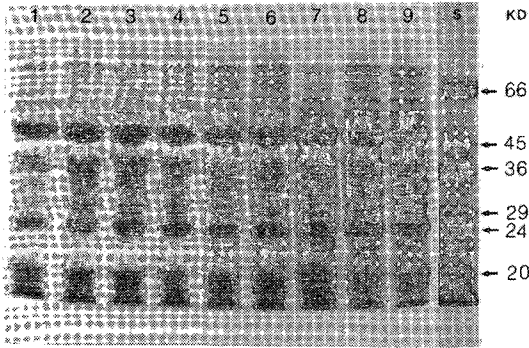


Fig. 2. Slab SDS-PAGE of soluble protein from the embryos of three rice cultivars received different priming treatment.

1. Sinunbongbyeo control
2. Sinunbongbyeo DW-24
3. Sinunbongbyeo PEG-60
4. Gancheokbyeo control
5. Gancheokbyeo DW-24
6. Gancheokbyeo PEG-60
7. Dongjinbyeo control
8. Dongjinbyeo DW-24
9. Dongjinbyeo PEG-60

### 5. Peroxidase와 Esterase의 Isozyme

PEG 용액에 침지한 후 배의 Peroxidase와 esterase의 isozyme pattern을 보기 위해 電氣泳動한 결과, peroxidase는 동진벼를 제외한 신운봉벼와 간척벼 두 품종 모두 Rf 0.94에서 PEG 용액에 침지한 종자가 증류수에 침지한 종자나 대조구보다 약간 진한색을 보였고, esterase는 세 품종 공통적으로 Rf 0.87에서 peroxidase와 비슷한 경향을 보였지만 처리간 濃淡程度는 약간 적게 나타났다(그림 3참조).

과종 전 PEG처리로 저온 발아성이 증진된 생리 화학적 원인규명에 더욱 접근하기 위해 더 많은 同位酵素의 검토가 필요하고, 또다른 접근방법을 모색해야 할 것으로 생각된다.

### 摘 要

저온에서 범씨종자의 發芽增進을 도모하기 위하여 과종 전 종자를 PEG 용액에 滲透處理 하였다. 발아율을 높이기 위한 가장 적절한 PEG-6000의 농도는 20%였으며, 침지하는 동안 온도는 20±1℃를 유지하였다. 본 실험에서 사용된 종자는 신

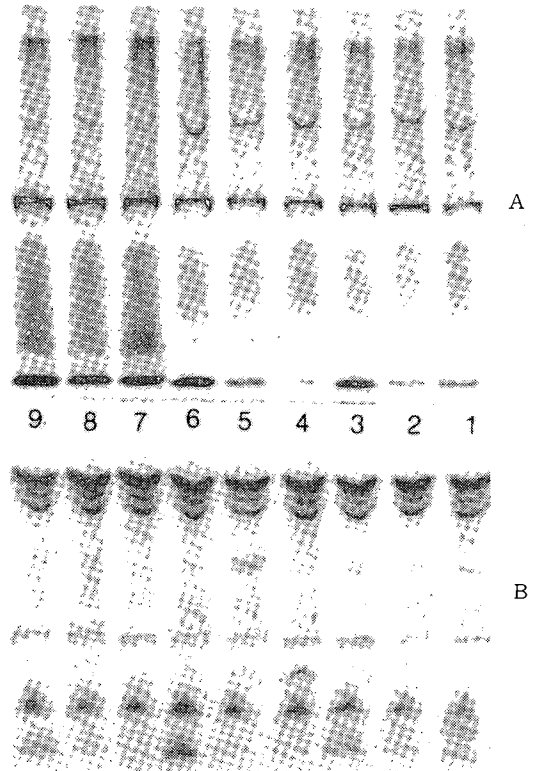


Fig. 3. Isozyme patterns of peroxidase(A) and esterase(B) from the embryos of three rice cultivars received different priming treatment.

1. Sinunbongbyeo control
  2. Sinunbongbyeo DW-24
  3. Sinunbongbyeo PEG-60
  4. Gancheokbyeo control
  5. Gancheokbyeo DW-24
  6. Gancheokbyeo PEG-60
  7. Dongjinbyeo control
  8. Dongjinbyeo DW-24
  9. Dongjinbyeo PEG-60
- + : anode - : cathode

운봉벼(조생종), 간척벼(중생종), 동진벼(중만생종)종자였는데 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. PEG 용액에 60시간 침지한 후 종자의 水分含量은 증류수에 24시간 침지한 후의 수분함량과 거의 같았다.
2. PEG 용액에 침지한 종자의 發芽能은 증류수에 침지한 종자의 발아능에 비해 특히 저온에서 현저히 높았다.
3. PEG 용액에 침지했던 종자 침출물의 電氣傳導度는 증류수에 침지했던 종자나 대조구보다 그 값이 낮았고, 總 脫水素酵素 活性은 증류수에

- 침지했던 종자나 대조구보다 그 값이 높았다.
4. 배의 단백질 함량을 보기 위해 電氣泳動한 결과, PEG 용액에 침지한 종자는 68KD부근 band에서 증류수에 침지한 종자나 대조구보다 약간 진한색을 보였다.
  5. 電氣泳動에 의한 胚의 同位酵素 조성을 본 결과 peroxidase는 신운봉벼와 간척벼에서 공통적으로 Rf 0.94에서 PEG 용액에 침지한 종자가 증류수에 침지한 종자나 대조구보다 진한색을 보였고, esterase는 세 품종 공통적으로 Rf 0.87에서 peroxidase와 비슷한 樣相을 보였다.

### 引用文獻

1. Bhattacharjee, A. and M. A. Choudhuri. 1986. Chemical manipulation of seed longevity and stress tolerance capacity of seedling *corchorus capsularis* and *C. olitorius*. Journal of Plant Physiology. 125:391-400.
2. Brocklehurst, P. A. and J. Dearman. 1983. Interaction between seed priming treatments and nine seed lots of carrot, celery and onion. I. Laboratory germination. Annals of Applied biology. 102:577-584.
3. Dell 'Aguila, A. and J. D. Bewley. 1989. Protein synthesis in the axes of polyethylene glycol treated pea seed and during subsequent germination. Journal of Experimental Botany. 40:1001-1007.
4. Dell 'Aguila, A. and G. Taranto. 1986. Cell division and DNA synthesis during osmopriming treatment and following germination in aged wheat embryos. Seed Sci. & Technol. 14:333-341.
5. Ellis, J. E. 1963. The influence of treating tomato seed with nutrient solutions on emergence rate and seedling growth. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 83:684-687.
6. Fleming, R. L. and S. A. Lister. 1984. Stimulation of black spruce germination by osmotic priming : Laboratory studies. Information Report O-X-362, Canadian Forestry Service.
7. Fu, J. R. X. H. JU, R. Z. Chen, B. Z. Zhang, Z. S. Li, and D. Y. Cai. 1988. Osmoconditioning of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds with PEG to improve vigour and some biochemical activities. Seed Sci. & Technol. 16:197-212.
8. Gulliver, R. L. and W. Heydecker. 1973. Establishment of seedling in a changeable environment. p. 433-462. In W. Heydecker(ed.) Seed Ecology, Butterworths, London.
9. Hafez, A. T. and J. P. Hudson. 1967. Effect of "hardening" radish seeds. Nature (Lond) 216:688.
10. Hanson, A. D. 1973. The effects of imbibition drying treatments on wheat seeds. New Phytol. 72:1063-1073.
11. Haridi, M. B. 1985. Effects of osmotic priming with polyethylene glycol on germination of *Pinus elliotii* seeds. Seed Sci. & Technol. 13:669-674.
12. Heydecker, W., J. Higgins, and R. L. Gulliver. 1973. Accelerated germination by osmotic seed treatment. Nature(Lond) 246:42-44.
13. Heydecker, W., J. Higgins, and Y. J. Turner. 1975. Invigouration of seeds? Seed Sci. & Technol. 3:881-888.
14. Heydecker, W. and P. Coolbear. 1977. Seed treatments for improved performance - Survey attempted prognosis. Seed Sci. & Technol. 5:353-425.
15. Huang, Y. G. and Q. Zon. 1989. Effects of osmocondition and drying on germination of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* and *Larix gmelinii* seeds. Seed Sci. & Technol. 17:235-242.
16. Jackson, W. T. 1962. Use of carbowaxes

- (polyethylene glycol) as osmotic agents. *Plant Physiol.* 34:513-519.
17. Khan, A. A., N. H. Peak, and Saminy. C. 1980/81. Seed osmoconditioning: Physiological and biochemical changes. *Israel Journal of Botany.* 29:133-144.
  18. Khan, A. A., N. H. Peak, A. G. Taylor, and C. Saminy. 1983. Osmoconditioning of beet seeds to improve yield in cold soil. *Agron. J.* 75:788-794.
  19. Khan, A. A., A. Szafrowska, and N. H. Peak. 1981. Osmoconditioning of seeds. *New York's Food and Life Sciences Quarterly.* 13:9-14.
  20. Pollock, B. M. 1969. Imbibition temperature sensitivity of lima bean seeds controlled by initial seed moisture. *Plant Physiol.* 44:907-921.
  21. Rao, S. C., S. W. Aker, and R. M. Ahring. 1978. Priming Brassica seed to improve emergence under different temperatures and soil moisture conditions. *Crop Science.* 27:1050-1053.
  22. Sachs, M. 1977. Priming of watermelon seeds for low-temperature germination. *J. Am. Soc. Hort.* 102:175-178.
  23. Smith, P. T. and B. C. Cobb. 1991. Physiological and enzymatic activity of pepper seeds (*Capsicum annuum*) during priming. *Physiologia Plantarum.* 83:433-439.
  24. 小高眞日, 安部信行. 1988. 農業技術 43:165-168.
  25. Sung, F. J. M. and Y. H. Chang. 1993. Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. *Seed Sci. & Technol.*, 21:97-105.
  26. Woodstock, L. W. and K-L. J. Tao. 1981. Prevention of imbibitional injury in low vigour soybean embryonic axes by osmotic control of water uptake. *Physiologia Plantarum,* 51:133-139.
  27. Zheng, G. H. 1985. Priming effects of PEG on germination of soybean seeds. *Acta Botanica,* 27:329-333.