

## Priming 약제의 종류와 농도가 목초종자의 발아에 미치는 영향

김종덕\* · 권찬호\* · 채상헌\* · 허삼남\*\* · 김종근\*\*\*

### Effect of Priming Materials and its Concentrations on the Germination of Pasture Seed

Jong Duk Kim\*, Chan Ho Kwon\*, Sang Heon Chae\*, Sam Nam Hur\*\*  
and Jong Geun Kim\*\*\*

#### ABSTRACT

Seed priming is a useful technique for early establishment of seedling. In this experiment, the conditions for priming of pasture seeds (tall fescue, orchardgrass, alfalfa and white clover) have been optimized to ensure an early germination and more uniform growth of seedlings. The experiment was conducted in a split plot design with three replications. The main plots consisted of five different materials such as  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$ ,  $K_3PO_4$ ,  $Ca(NO_3)_2$  and PEG. The subplots were consisted of three chemical concentration groups such as 50mM (or 10%), 100mM (or 20%) and 200mM (or 30%). Effect of priming materials and its concentrations were different in all four pasture seeds examined. Chemical concentration did not show any significant effects on the germination of tall fescue, however, germination of tall fescue primed with  $Ca(NO_3)_2$  and  $K_3PO_4$  materials were higher than the others. The concentration of prime materials did not affect on the germination of orchardgrass, but germination of orchardgrass primed with  $KH_2PO_4$  was showed better result than the other materials examined. The seeds of alfalfa and white clover primed with PEG showed better germination capability than the other priming materials. In addition, chemical concentration of primed seeds also showed significant difference on the germination of alfalfa and white clover. These results suggest that seed priming induced earlier and higher germination for all four pastures tested. However, the degree of priming effectiveness on pasture species depending on the priming materials and its concentrations.

(Key words : Tall fescue, Orchardgrass, Alfalfa, White clover)

#### I. 서 론

발아란 종자가 수분을 흡수하여 배가 휴면으로부터 벗어나 대사작용이 시작하면 생장이 재기되어 종피를 뚫고 유근이 나오는 과정을 발아라고 말한다(Come 및 Tissaoui, 1973). 이 과

정에서 인위적으로 수분 조절을 함으로써 생리적 발아를 유도하여 발아촉진 효과를 얻을 수 있다.

일반적으로 발아 유도와 촉진을 위하여 침지 처리 및 생장 조절물질 처리는 처리 중 유근이 돌출하는 경우가 많아 파종시 어려움이 있으나

\* 천안연암대학(Cheonan Yonam College)

\*\* 전북대학교(Chonbuk National University)

\*\*\* 농촌진흥청 축산연구소(National Livestock Research Institute, RDA)

Corresponding author : Chan Ho Kwon, Cheonan Yonam College, Sunghwan, Cheonan-Si 330-709, Korea

Tel: 041-580-1015, Fax: 041-580-1249, E-mail: chkwon@yonam.ac.kr

염류 또는 PEG(Polyethylene glycol)를 이용하여 유근을 돌출시키지 않고 발아의 초기단계를 극대화시키는 것을 seed priming 이라고 한다 (Malnassy, 1971; Heydecker, 1974).

Priming의 목적은 일반적으로 발아 소요일수 단축과 균일한 발아 및 발아 잠재력의 증진 등에 있으며(Bradford, 1986; Heydecker 및 Coolbear, 1977; Taylor 및 Harman, 1990), priming하여 파종하였을 때 발아기간의 단축, 유식물 출현의 균일성, 규격도의 향상과 수량 증대 등에 효과적이어서 채소 및 화훼작물의 종자에 널리 이용되고 있으나(Heydecker, 1978; Taylor 및 Harman, 1990), 최근에는 과수, 수목, 잔디 종자 등에도 사용하는 경우가 많아지고 있다.

특히 소형종자의 종자 코팅(seed coating)시 피복종자가 일반종자 보다 발아율이 낮은 점을 개선하고, 발아의 균일도를 증가시키기 위하여 목초종자에 priming 기술을 도입하고 있다.

Priming 약제는 종류와 농도에 따라 그 효과가 다르고(Dahal 등, 1990; Suzuki 등, 1990), 종자의 수분유지와 종자에 독성이 없어야 한다 (Khan 등, 1978; Fleming 및 Lister, 1984). Priming 약제 종류에 따라서는 세포의 삼투조절을 방해하며, 고농도는 효소와 세포막을 파괴시켜 발아를 억제시키며(Greenway 및 Munns, 1980), 종자의 발아율과 출현율을 감소시킨다. 또한 priming 용액의 농도가 증가할수록 종자의 대사작용을 방해하여 priming 효과를 감소시킬 수 있으며(Haigh 및 Barlow, 1987), priming 용액에 침지되어 있을 때 종자 수분 함량이 증가되고(Brocklehurst 및 Dearman, 1983) 대사작용의 활성이 왕성해져(Khan, 1992) 처리약제의 종류와 농도에 따라서 priming 기간 중 유근이 출현할 수 있으므로, 유근이 돌출되지 못하도록 조절할 수 있는 농도 설정이 중요하다.

따라서 본 시험에서는 priming 약제는 KNO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 및 PEG를 사용하여 각 약제의 농도를 달리하여 처리하였을 때 주요 목초의 발아율을 조사하고자 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

본 시험에 사용한 목초는 화본과 목초로 톨페스큐와 오처드그라스를 사용하였으며, 두과 목초는 알팔파와 화이트 클로버를 사용하였다. 본 시험에서 priming 약제의 종류는 주구로 하고, 약제의 농도를 세구로 하는 분할구 배치법으로 시험을 수행하였다. Priming 약제는 KNO<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 및 PEG(polyethylene glycol 8000)를 사용하였다. PEG는 10%, 20% 및 30% 용액으로 처리하였으며, 그 외의 약제들은 공히 50, 100 및 200 mM로 하였다. 이때 priming 조건은 화본과 목초는 15℃ 암 상태에서 6일, 두과목초는 15℃ 암 상태에서 2일이었 다.

발아시험의 치상온도는 변온처리를 하여 주간 12시간은 20℃에, 야간 12시간은 30℃로 하였으며, 각 작물의 발아기준은 국제 표준 발아 시험법(AOSA, 1983)에 준하여 각 처리별로 3 반복으로 실시하였다. 발아시험의 조사항목은 발아세(GE; germinative energy), 발아율(PG; percent germination), 평균발아소요일수(MDG; mean number of days to germination) 및 T50(number of days to 50% of the final germination percentage)을 조사하였다. 최종 발아율에 대한 50% 발아에 소요되는 일수(T50)는 Coolbear 등 (1984)의 아래 공식을 이용하였다.

$$T50 = T_i + \frac{(N+1)/2 - N_i}{(N_j - N_i)} \times (T_j - T_i)$$

N : 최종 발아 조사기간까지 발아된 전체 종자수

N<sub>i</sub> : N에 대한 50% 직전까지 발아된 종자수의 합계

N<sub>j</sub> : N에 대한 50% 직후에 발아된 종자수의 합계

T<sub>i</sub> : N<sub>i</sub> 시점까지 소요된 발아기간

T<sub>j</sub> : N<sub>j</sub> 시점까지 소요된 발아기간

단,  $N_i < (N+1)/2 < N_j$  이어야 한다.

본 시험의 모든 성적은 SAS package program(Ver. 6.12)을 사용하여 분산분석을 실시하고 처리한 평균 비교는 최소 유의차 검정을 실시하였다.

### III. 결과 및 고찰

톨 페스큐의 priming 후 발아세, 발아율, 평균발아소요일수(MDG) 및 T50은 Table 1에서 보는 바와 같다. 톨 페스큐는 약제의 종류에 따라 발아특성에서 처리간에 차이가 있었으나 ( $p < 0.05$ ), 약제의 농도에서는 T50을 제외하고는

처리간에 차이가 없었다. Priming 약제 중에서  $Ca(NO_3)_2$ 와  $K_3PO_4$ 가 다른 약제보다 발아율이 높았으며, 특히  $Ca(NO_3)_2$  200 mM과  $K_3PO_4$  100 mM에서 발아율이 높고 T50은 짧은 편이었다.

Priming 약제의 종류와 농도별로 오처드그라스에 처리하였을 때의 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 오처드그라스는 priming 약제의 종류에 따라서는 발아 특성(발아세, 발아율, 평균 발아 소요일수 및 T50에서 처리간에 차이가 있었으나( $p < 0.05$ ), 약제의 농도간에는 차이가 없었다. 오처드그라스는 톨 페스큐와 마찬가지로  $Ca(NO_3)_2$ 와  $K_3PO_4$ 가 다른 약제처리보다 발아율이 높았다.

Table 1. Effect of priming materials and their concentrations on the germination of tall fescue

Seed treatments		GE	PG	MDG	T50
Materials	Concentration	(%)	(%)	(days)	(days)
KNO <sub>3</sub>	50 mM	60.0	81.3	2.9	2.4
	100 mM	47.3	78.7	2.8	3.2
	200 mM	43.3	84.7	3.0	4.0
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	50 mM	63.3	88.7	3.2	2.4
	100 mM	57.3	82.7	3.0	2.8
	200 mM	72.7	91.3	3.3	2.3
K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	50 mM	68.7	83.3	3.0	2.1
	100 mM	72.0	90.7	3.2	2.4
	200 mM	60.0	87.8	3.1	2.5
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	50 mM	50.7	78.7	2.8	3.2
	100 mM	50.0	78.0	2.8	3.2
	200 mM	62.0	82.7	3.0	3.1
PEG	10%	42.7	76.0	2.7	3.7
	20%	33.3	74.0	2.6	4.3
	30%	36.0	78.7	2.8	4.5
LSD(0.05)					
Materials (A)		7.77	5.82	0.21	0.51
Concentration (B)		NS	NS	NS	0.39
A×B		*	NS	NS	NS

GE=germinative energy, PG=percent germination, MDG=mean number of days to germination, T50=number of days to 50% of the final germination percentage.

Table 2. Effect of priming materials and their concentrations on the germination of orchardgrass

Seed treatments		GE	PG	MDG	T50
Materials	Concentration	(%)	(%)	(days)	(days)
KNO <sub>3</sub>	50 mM	26.7	51.3	1.7	4.7
	100 mM	37.3	57.3	1.9	4.4
	200 mM	39.3	55.3	1.8	4.1
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	50 mM	53.3	63.3	2.1	3.0
	100 mM	49.3	61.3	2.0	3.1
	200 mM	46.7	62.7	2.1	3.6
K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	50 mM	55.3	69.3	2.3	3.1
	100 mM	52.0	65.3	2.2	2.9
	200 mM	44.0	64.7	2.2	3.9
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	50 mM	41.3	66.7	2.2	4.1
	100 mM	44.7	59.3	2.0	3.3
	200 mM	41.3	64.0	2.1	3.7
PEG	10%	32.7	54.7	1.8	4.2
	20%	37.3	55.3	1.8	4.1
	30%	29.3	59.3	1.8	5.0
LSD(0.05)					
Materials (A)		6.10	4.58	0.16	0.56
Concentration (B)		NS	NS	NS	NS
A×B		NS	NS	NS	NS

GE=germinative energy, PG=percent germination, MDG=mean number of days to germination, T50=number of days to 50% of the final germination percentage.

한편 알팔파와 화이트 클로버의 priming 처리 후 발아세, 발아율, 평균발아소요일수 및 T50은 Table 3과 Table 4에서 보는 바와 같다.

알팔파는 priming 약제 가운데서 PEG 처리가 다른 약제보다 발아세와 발아율이 높았으며, 특히 PEG 30% 처리에서 발아세와 발아율이 높았다( $p<0.05$ ). PEG 다음으로는 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>가 다른 약제보다 우수하였으며 특히 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 50 mM 처리에서 우수하였다.

화이트 클로버도 알팔파와 마찬가지로 PEG가 다른 약제보다 우수하였다( $p<0.05$ ). 특히

PEG의 30% 처리에서 발아세와 발아율이 높았고, 다음은 K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 200 mM이 다른 처리구보다 발아세와 발아율이 높았다.

본 시험에서 목초 priming 후 발아특성을 볼 때 priming 약제의 종류와 농도에 따라 초종의 반응이 달랐다. Dahal 등(1990) 및 Suzuki 등(1990)의 시험에서도 priming 약제의 종류와 농도에 따라 발아특성이 달라진다고 하였다. 이는 초종과 약제의 종류에 따라 세포의 삼투성 차이와 약제의 독성과 대사작용이 다르기 때문에 일어나는 것으로 보고되고 있다(Haigh 및

Table 3. Effect of priming materials and their concentrations on the germination of alfalfa

Seed treatments		GE	PG	MDG	T50
Materials	Concentration	(%)	(%)	(days)	(days)
KNO <sub>3</sub>	50 mM	14.0	15.3	1.1	3.2
	100 mM	18.0	18.0	1.3	3.2
	200 mM	44.0	52.7	3.8	3.1
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	50 mM	71.3	78.0	5.6	2.4
	100 mM	69.3	75.3	5.4	2.4
	200 mM	64.0	66.0	4.7	2.4
K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	50 mM	56.0	57.3	4.1	2.4
	100 mM	48.0	60.7	4.3	2.9
	200 mM	68.7	73.3	5.2	2.5
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	50 mM	48.7	53.3	3.8	2.8
	100 mM	52.0	62.7	4.5	2.6
	200 mM	48.0	52.7	3.8	2.5
PEG	10%	81.3	82.7	5.9	2.4
	20%	74.7	85.3	6.1	2.4
	30%	85.3	88.7	6.3	2.3
LSD(0.05)					
Materials (A)		8.32	8.85	0.63	0.21
Concentration (B)		6.45	6.86	0.48	NS
A×B		*	**	**	NS

GE=germinative energy, PG=percent germination, MDG=mean number of days to germination, T50=number of days to 50% of the final germination percentage.

Barlow, 1987). 그리고 priming 용액에 침지하였을 때 초종에 따라 종자수분의 증가와 대사작용이 priming 약제의 종류와 농도에 따라 목초가 다르게 반응을 할 수 있기 때문에 초종에 따라서 발아율과 발아 소요일수가 달라진 것으로 판단된다.

본 시험에서 약제의 종류와 농도에 따른 초종간의 비교에서 화분과인 톨 페스큐와 오처드 그라스는 priming 약제 중에서 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>와 K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>가 다른 약제보다 priming에 적합한 것으로 판단되었다. 그러나 두과작물인 알팔파와 화이트 클로버에서는 PEG가 다른 약제보다 발

아율이 높아 두과목초의 priming에 적합한 약제로 평가되었다.

한편 priming 약제의 농도는 높아질수록 발아율과 유묘 출현율이 낮아지며(Hegarty 및 Ross, 1980/1981), 종자의 형태(Bodsworth 및 Bewley, 1981)와 작물의 종류에 따라서도 달라진다고 하였다(Fu 등, 1988). 본 시험에서도 작물에 따라 priming 종자의 발아율과 발아소요일수가 달랐다. 특히 화분과 목초보다는 두과목초인 알팔파와 화이트 클로버에서 priming 약제의 농도간에 발아세와 발아율의 차이가 뚜렷하였다. 특히 두과목초 priming에 효과가 있

Table 4. Effect of priming materials and their concentrations on the germination of white clover

Seed treatments		GE	PG	MDG	T50
Materials	Concentration	(%)	(%)	(days)	(days)
KNO <sub>3</sub>	50 mM	64.7	69.3	5.0	2.4
	100 mM	77.3	78.0	5.6	2.4
	200 mM	62.0	65.3	4.7	2.4
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	50 mM	62.7	72.7	5.2	2.5
	100 mM	64.0	75.3	5.4	2.7
	200 mM	57.3	67.3	4.8	3.1
K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	50 mM	33.3	36.0	2.6	2.7
	100 mM	46.3	50.0	3.6	2.6
	200 mM	72.7	78.0	5.6	2.4
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	50 mM	38.0	42.7	3.0	3.1
	100 mM	62.0	62.7	4.5	2.4
	200 mM	52.7	54.0	3.9	2.6
PEG	10%	76.0	79.3	5.7	2.4
	20%	73.3	75.3	5.4	2.4
	30%	83.3	83.3	6.0	2.2
LSD(0.05)					
Materials (A)		7.56	8.69	0.62	0.18
Concentration (B)		5.85	6.73	0.48	NS
A×B		***	**	**	**

GE=germinative energy, PG=percent germination, MDG=mean number of days to germination, T50=number of days to 50% of the final germination percentage.

는 PEG는 농도에 따라 발아율과 발아 소요일 수가 다르기 때문에 적정 농도가 중요하다고 하였다(Mexal 등, 1975; Liptay 및 Tan, 1985). Priming에 가장 많이 이용되는 PEG는 상대적으로 높은 점성 때문에 산소 확산율이 낮은 단점을 가지고 있으나, 종자 내 함유율을 저하시키고 발아시 환경 스트레스에 대한 내성을 강하게 하는 작용을 가지고 있다. PEG 처리는 작물에 따라 다르나 일반적으로 농도가 높아질수록 발아율이 감소하고 발아소요일수가 지연된다(Rabin 등, 1988; Stoffella 등, 1992). 그러

나 본 시험의 알팔파와 화이트 클로버 priming에서는 PEG 30%가 20% 및 10% 보다 발아율이 높아 초종에 적정 농도가 다름을 알 수 있다. 따라서 두과 목초인 알팔파와 화이트 클로버의 priming에서는 PEG가 다른 약제보다 효과가 있으며 그 농도는 30%가 적합한 것으로 판단되었다.

이상의 목초 priming에서 약제의 종류와 농도에 따른 종자의 발아율과 발아 소요일수의 비교에서는 초종에 따라 적합한 약제와 농도가 달랐다. 따라서 목초의 priming에서는 각 초종

에 적합한 약제를 선택하여 적정 농도에 처리하는 것이 중요한 것으로 판단되었다.

#### IV. 요 약

종자의 priming은 유식물의 초기 정착에 중요한 기술 중의 하나이다. 따라서 본 시험에서는 목초의 주요 초종인 톨 페스큐, 오처드그라스, 알팔파 및 화이트 클로버의 발아율 향상과 균일도 증가를 위하여 priming 약제의 종류와 농도를 달리하여 발아율을 조사하였다. 본 시험은 분할구 배치법으로 주구는  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$ ,  $K_3PO_4$ ,  $Ca(NO_3)_2$  및 PEG 약제를, 세구는 50 mM(또는 10%), 100 mM(또는 20%) 및 200 mM(또는 30%)의 약제농도를 두었다. Priming 목초의 발아율은 약제의 종류 및 농도에 따라 다르게 나타났다. 화분과 목초인 톨 페스큐는  $Ca(NO_3)_2$ 와  $K_3PO_4$ 가 다른 약제보다 발아율이 높았으며, 오처드그라스는 약제간에 차이가 없었으나  $KH_2PO_4$ 가 다른 약제보다 발아율이 높았다. 한편 두과목초인 알팔파와 화이트 클로버는 모두 PEG에서 높은 발아율을 나타내었다. 한편 약제의 농도는 약제의 종류에 따라 달랐다. 이상의 결과를 종합해 보면 목초의 priming은 초종에 따라 적정 약제종류와 농도가 달랐다.

#### V. 사 사

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과의 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

#### VI. 인용 문헌

1. Association of Official Seed Analysis. 1983. Rules for testing seeds. Proc. Assoc. Seed Anal. 54:1-112.
2. Bodsworth, S. and J.D. Bewley. 1981. Osmotic priming of crop species with polyethylene glycol

as a means of enhancing early and synchronous germination at cool temperature. Can. J. Bot. 59:672-676.

3. Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress condition. Hort Science 26: 1105-1112.
4. Brocklehurst, P.A. and J. Dearman. 1983. Interaction between seed priming treatments and nine seed lots of carrot, celery and onion. I. Laboratory germination. Ann. Appl. Biol. 102:577-584.
5. Come, D. and T. Tissaoui. 1973. Interrelated effects of imbibition, temperature and oxygen on seed germination. p. 157-168. In: W. Heydecker (ed.). Seed ecology. Butterworths, London.
6. Coolber, P., A. Francis and D. Grierson. 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.
7. Dahal, P., K.J. Bradford and R.A. Jones. 1990. Effects of priming and endosperm Integrity on seed germination rates of tomato genotype. II. Germination at reduced water potential. J. Exp. Bot. 41: 1441-1453.
8. Fu, J.R., X.H. Lu, R.Z. Chen, B.Z. Zhang, Z. S. Liu, Z.S. Li and D.Y. Cay. 1988. Osmoconditioning of peanut (*Arachis hypogea* L.) seeds with PEG to improve vigor and some biochemical activities. Seed Sci. Technol. 16:197-212.
9. 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.
10. Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31:149-190.
11. Haigh, A.M. and E.W.R. Barlow. 1987. Water relations of tomato seed germination. Aust. J. Plant Physiol. 114:485-492.
12. Hegarty, T.W. and H.S. Ross. 1980/1981. Investigations of control mechanisms of germination under water stress. Israel J. Bot. 29:83-92.
13. Heydecker, W. 1974. Germination of an idea: the priming of seeds. University of Nottingham School of Agriculture Report, 197/1974:50-57.

14. Heydecker, W. 1978. Stress and seed germination : An agronomic view. p. 237-282. In A.A. Khan (ed.). *The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination*. Elsevier/North-Holland, Amsterdam.
15. Heydecker, W. and P. Coolbear. 1977. Seed treatments for improved performance survey and attempted prognosis. *Seed Sci. & Technol.* 5:353-425.
16. Khan, A.A., K.L. Tao, J.S. Knypl, B. Borkowska, and L. E. Powell. 1978. Osmotic conditioning of seeds; physiological and biochemical changes. *Acta Hort.* 83:267-278.
17. Khan, A.A. 1992. Preplant physiological seed conditioning. *Hort. Rev.* 13:131-181.
18. Liptay, A. and C.S. Tan. 1985. Effect of various levels of available water on germination of polyethylene glycol (PEG) pretreated of untreated tomato seeds. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110: 748-751.
19. Malnassy, P.G. 1971. Physiological and biochemical studies on a treatment hastening the germination of seeds at low temperatures. Ph.D. Diss. Rutgers Univ., New Brunswick, N.J.
20. Mexal, J., J.T. Fisher, J. Osteryoung, and C.P.P. Reid. 1975. Oxygen availability in polyethylene glycol solutions and its implications in plant-water relations. *Plant Physiol.* 55:20-24.
21. Rabin, J., G.A. Berkowitz, and S.W. Akers, 1988. Field performance of osmotically primed parsley seed. *Hort. Science* 23:554-555.
22. Stoffela, P.J., M. Lipucci, Di Paola, A. Pardossi, and F. Tognomi. 1992. Seedling root morphology and shoot growth after seed priming or pre-germination of bell pepper. *Hort. Science* 27: 214-215.
23. Suzuki, H., S. Obayash, J. Yamagish, and S. Inanaga. 1990. Effect of pH of tertiary phosphates solutions on radicals protrusion during priming of carrot seeds. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 62:143-148.
24. Taylor, A.G. and G.E. Harman. 1990. Concepts and technologies of selected seed treatment. *Ann. Rev. Phytopathol.* 28:321-339.