

Priming과 播種後 光質處理에 따른 도라지, 더덕, 만삼의 發芽率

姜晉鎬*·朴珍緒*·金東一*

Effect of Priming and Light Quality on Seed Germination in Three *Campanulan* Plants

Jin Ho Kang*, Jin Seo Park* and Dong Il Kim*

ABSTRACT : Priming has been used to establish a better standing in practice as controlling the seed moisture content after sowing. The experiment was done to measure the effect of priming (material : concentration ; period) and light quality (red : white : dark) after sowing on seed germination and radicle elongation of *Campanulaceae* (*Platycodon grandiflorum* : *Codonopsis lanceolata* : *C. pilosula*) to give an information on their earlier standing establishment. The germination test was carried out with 12 hours irradiation for 9 days after priming treatment.

In the darkness, the mean germination rate of all the species was decreased in the order to *P. grandiflorum*, *C. pilosula*, *C. lanceolata*. Their germination and radicle elongation became more inclined when primed with $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ or with 50 to 150mM than with KNO_3 or no priming although there was no difference between priming periods. Under irradiation during their seed germination, however, the former order was changed to *P. grandiflorum*, *C. lanceolata*, *C. pilosula* because light quality treatment given after priming reduced the rate of *C. pilosula* but enhanced that of *C. lanceolata*. Although light quality forced after priming did not affect the mean germination rate of *P. grandiflorum*, it increased earlier or all-time germination of *C. lanceolata* or *C. pilosula*, respectively. White light after priming repressed germinations of *C. lanceolata* and *C. pilosula* but increased earlier germination of *P. grandiflorum*, meaning that seed germination and radicle elongation of *Campanulaceae* could be determined by light quality treated after priming.

Key words : *Campanulaceae*, Priming, Light quality, Germination, Radicle length.

緒 言

작물이 어느 지역에 생존할 수 있는가는 온도가 결정하며 생존 가능한 온도범위에서 수분이 種의

정착을 결정하는 것으로 알려져 있다²⁾. 흡수, 종자에 포함된 효소활성, 유근돌출이라는 일련의 과정으로 일어나는 종자발아에서 인위적으로 수분흡수를 조절하여 발아율을 높이기 위한 방법으로는 종자피복도 이용될 수 있으나 주로 seed hydration 방

* 慶尙大學校 農學科·慶尙大學校 附屬 農漁村開發研究所 (Dept. of Agronomy and Institute of Agric. & Fish. Development, Gyeongsang Natl. University, Chinju 660-701, Korea) < '97. 4. 14 접수 >

법이 이용되고 있다⁵⁾.

Seed hydration에는 단순히 파종 전 종자를 침지하는 방법과 priming 또는 osmoconditioning으로 구분되고 있으나 종자의 수분흡수를 조절하여 발아율을 향상시키기 위한 처리로 후자가 주로 이용되고 있다^{4,5)}. Priming은 종자의 수분흡수를 조장함으로써 종자내 대사작용의 활성화 기간을 충분히 확보하게 하여 발아의 촉진 또는 향상을 가져오는 것으로 보고되고 있다⁴⁾. 그러나 이러한 priming 효과는 priming에 이용되는 물질, 처리기간, priming 중의 온도, 광, 산소농도를 포함한 환경조건 등 처리조건에 따라 크게 영향을 받는다³⁾.

Priming에는 수분 potential을 정확히 조절할 수 있는 polyethylene glycol (PEG), KNO_3 등 질산화물, K_2PO_4 등 인산화물, NaCl, glycol, mannitol 등이 priming 제로서 이용되고 있으나 그 중에서 처리효과가 뛰어나고 가격이 저렴하다는 장점에 때문에 KNO_3 등 질산화물이 많이 이용되고 있다^{4,5,8)}. 이러한 질산화물의 적정 처리농도는 100~300 mM로서, 세포내 저장물질이 종자 밖으로 침출되지 않는 정도로 처리되어야 priming 효과를 극대화할 수 있는 것으로 보고되고 있다^{9,10)}.

종자의 수분조절을 통하여 발아율을 향상시키기 위한 priming은 胚乳細胞壁 또는 種皮를 軟化시켜 유근돌출을 용이하게 하며¹³⁾, 유근돌출 후에도 세포분열과 DNA 합성을 활성화시켜 유근신장을 촉진하나⁷⁾, priming 후 발아중의 光質이 발아율과 유근신장에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다¹⁾. 지금까지 미국자리공과 *Bupleurum griffithii* 종자는 priming 후 주어지는 빛, 특히 赤色光이 發芽率을 향상시키며^{10,12)}, 한편 priming 후 발아과정에서 주어지는 投光과 赤色光 處理에 의하여 유근신장도 촉진되는 것으로 보고되고 있다¹⁴⁾. 따라서 발아율에서 많은 차이를 보이고 있는 재배중인 초롱꽃과 약용작물의 발아 및 유근신장은 priming 방법과 priming 후 주어지는 光質에 따라 상이한 반응을 보일 것으로 예측된다.

우리 나라에서 가장 많이 재배되고 있으면서도 상이한 발아율을 보이는 초롱꽃과 藥用作物 도라지, 더덕, 만삼의 발아율 향상과 균일한 발아를 유도할 수 있는가에 관한 정보를 얻고자 일련의 계획

된 종자처리중 priming과 발아중 光質處理가 발아율 및 유근신장에 미치는 영향을 조사하기 위하여 본 시험을 실시하였다.

材料 및 方法

본 시험은 1994년 11월부터 1995년 4월까지 慶尙大學校 農學科 工藝作物學實驗室에서 種子發芽床을 이용하여 실시되었다. 처리를 제외한 시험수행 방법, 관리와 발아 및 유근장 조사는 前報¹¹⁾에 준하여 실시하였다.

본 시험은 현재 농가에서 재배되고 있는 도라지, 더덕과 만삼을 供試하여 2개 항목으로 분리하여 행하여졌다. 항목 1은 priming이 供試種의 발아 및 유근신장에 미치는 영향을 구명하여 최적 priming 조건을 설정하고자 KNO_3 와 $Ca(NO_3)_2$ 를 無處理, 50, 150, 300mM로 농도를 달리한 후 1일 또는 2일 처리하여 요인시험 3반복으로 暗條件에서 시험을 수행하였다.

항목 2는 3개의 공시종을 위 항목 1의 최적결과인 $Ca(NO_3)_2$ 150mM에 2일간 침지하여 priming 처리를 가한 것과 priming 처리를 가하지 않고 단지 2일간 증류수에 침지한 후 치상하여 前報¹¹⁾와 동일하게 일일 12시간의 赤色光, 白色光 또는 暗狀態로 光質處理를 가하였다.

結果 및 考察

1. 發芽率

최적 priming 조건을 설정하기 위하여 供試種에 priming 제, priming 농도 및 priming 처리기간을 달리하여 실시한 결과로서 각요인별 처리수준의 平均發芽率과 처리요인간 상호작용은 표 1과 같다. 평균발아율은 供試種과 priming 농도간에는 조사기간 모두 차이가 있었던 반면, priming 제와 priming 처리기간별 수준간에는 치상 6일 후에는 차이가 없었다. 各供試種의 반응으로써 발아율은 도라지에서 가장 높았으나 前報¹¹⁾의 光質 또는 저온처리를 가한 결과와는 달리 만삼의 발아율은 치상 9일 후 약 75%로 현저히 증가한 반면, 더덕의

발아율은 약 54%로서 오히려 감소된 것으로 나타났다.

Priming 제로는 치상 4~6일 후 KNO₃에 비하여 Ca(NO₃)₂ 처리가 발아율을 향상시켰으며, priming 처리를 하지 않은 것과 高濃度로 처리하는 것에 비하여 50~150mM 처리에서 발아율이 높고,

2일간 priming 처리하는 것이 초기 발아율을 증가시킨 것으로 나타났다.

발아율은 供試種, priming 농도와 priming 처리 기간간에 상호작용이 있는 것으로 분석되어 (표 1) 이들 요인별 처리수준에 따른 발아율 변화를 圖示한 것은 그림 1과 같다. KNO₃ 또는 Ca(NO₃)₂로 농

Table 1. Mean seed germination and radicle length(RL) of *Campanulaceae* as influenced by priming chemicals, their concentration and duration

Parameters	Level	Dayas after sowing									
		3	4	5	6	7	8	9	5	7	9
	 % germination RL, cm		
Species (S)	PG [†]	0.7	12.6	34.9	62.6	80.2	88.7	90.9	0.13	0.62	1.52
	CL	2.1	10.6	23.6	34.8	43.6	50.6	53.9	0.25	0.87	1.63
	CP	0.0	3.1	32.1	54.3	65.4	75.5	78.4	0.11	0.80	2.38
	LSD.05	0.6	1.8	4.3	4.7	4.1	3.1	2.6	0.02	0.07	0.13
	Priming (P) chemical	PN [†]	1.0	6.2	23.9	45.8	63.1	71.4	74.6	0.14	0.68
	CN	0.9	11.3	36.5	55.4	65.8	71.7	74.2	0.18	0.86	1.99
	LSD.05	ns	1.4	3.5	3.8	ns	ns	ns	0.02	0.05	0.11
	0	1.2	8.4	28.0	49.5	64.1	69.1	71.4	0.17	0.70	1.75
	50	1.3	9.3	32.7	55.0	67.8	74.6	77.6	0.17	0.80	1.94
	150	1.1	11.4	33.5	52.1	66.5	75.0	77.7	0.18	0.87	1.96
	300	0.2	6.1	26.7	45.8	59.2	67.8	71.1	0.14	0.70	1.73
	LSD.05	0.7	2.0	5.0	5.5	4.8	3.6	3.0	0.03	0.07	0.16
Priming (D) duration	1	0.7	7.8	28.4	49.0	64.1	71.5	74.2	0.16	0.75	1.84
	2	1.2	9.7	32.0	52.2	64.6	71.6	74.7	0.17	0.78	1.85
	LSD.05	0.3	1.0	2.8	0.6	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S×P		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
S×C		*	**	**	**	**	**	**	**	**	**
S×D		**	**	**	**	**	**	**	ns	**	ns
P×C		**	**	**	**	**	**	**	*	*	**
P×D		**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C×D		**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
S×P×C		**	**	**	**	ns	ns	ns	*	**	**
S×P×D		ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S×C×D		**	**	**	*	**	**	**	**	*	ns
P×C×D		**	**	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns
S×P×C×D		**	**	ns	ns	ns	**	**	**	**	ns

[†] PG, *Platycodon grandiflorum*; CL, *Codonopsis lanceolata*; CP, *C. pilosula*.

[†] Indicate PN, KNO₃ and CN, Ca(NO₃)₂ used as priming chemical.

ns, *, ** Nonsignificant or significant at 0.05 or 0.01 probability, respectively.

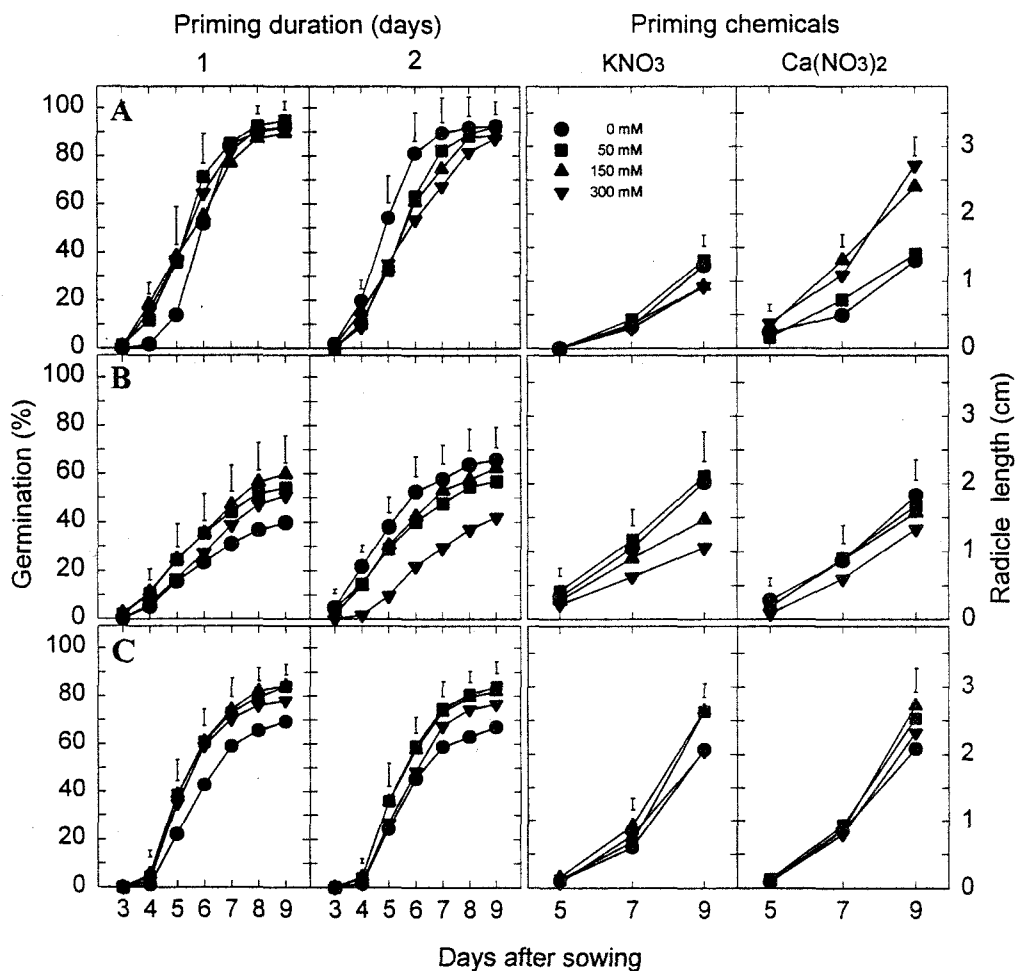


Fig. 1. Effect of light duration or chemical of priming on seed germination (left-sided) and radicle elongation (right-sided) of *Campanulaceae*. Letters indicate A, *Platycodon grandiflorum*; B, *Codonopsis lanceolata* and C, *C. pilosula*. Vertical or non-vertical bars represent LSD.05 or non-significance for the same day after sowing, respectively.

도를 달리하면서 1일간 priming하는 것 보다는 증류수로 1일간 침지할 경우 도라지는 치상 후 4~6일, 즉 초기단계에서 발아가 지연된 반면, 더덕과 만삼은 치상 후 시간이 경과할수록 발아가 점진적으로 지연되어 발아율이 떨어지는 경향을 보였다. 그러나 2일간 KNO_3 또는 $Ca(NO_3)_2$ 로 priming하거나 증류수로 침지할 경우 도라지와 더덕의 발아율은 증류수로 침지한 것에서 가장 높고 priming 농도가 가장 높은 300mM에서 가장 낮았으며, 만삼은 1일간의 처리와 유사한 경향을 보였다.

이상의 최적 시험결과인 $Ca(NO_3)_2$ 150mM에 2일간 priming하거나 2일간 증류수에 침지한 종자를 치상한 후 光質處理를 가한 各供試種의 平均發芽率은 표 2와 같다. 본 논문의 상기시험과 달리 치상 후 9일에서 도라지, 더덕, 만삼 순으로 발아율이 감소되었고, 특히 만삼에 비하여 더덕의 발아가 priming과 光質處理로 인하여 촉진되는 것으로 나타났다. 한편 priming 有無에 따른 발아율은 priming을 할 경우 치상 3~4일에만 효과가 있었고, 발아중 처리된 光質의 效果는 상호 비슷한 일

일 발아율을 보인 赤色光과 暗狀態에 비하여 白色光은 초기 발아율을 높였으나 발아기간이 경과할 수록 억제되었다.

발아율에 있어서 공시종과 priming 有無 또는 光質과 상호작용이 있어 (표 2) 이들 요인별 처리수준에 따른 발아율 변화를 圖示한 것은 그림 2와 같다. 도라지는 priming 有無에 따른 차이가 없었으나 더덕에서는 priming 처리시 초기 발아를 억제하였던 반면, 만삼은 priming 처리로 발아가 향상되었다. Priming 후 발아과정에서 주어지는 光質의 效果로서 白色光은 도라지의 발아를 촉진시켰던 반면, 더덕과 만삼, 특히 만삼의 발아를 현저히 억제하였다.

無處理 또는 물로서 침지한 종자에 비하여 priming 처리시 발아를 향상시킨다는 보고¹⁵⁾와 본 시험결과로부터 재배종인 초롱꽃과 약용작물은

Ca(NO₃)₂ 150mM로 1~2일간 priming하는 것이 발아율 향상을 위한 후면타파 방법으로 적절할 것으로 보이며, 특히 발아가 극히 불량한 만삼은 Ca(NO₃)₂를 이용한 1일 이상의 priming 처리로 인하여 발아율은 현저히 향상될 것으로 예측된다. 그러나 시호의 일종인 *Bupleurum griffithii*는 priming 처리로 발아가 조장되고 光要求度를 변화시키는 것으로 알려져 있다¹²⁾. 본 시험에서도 발아를 暗條件에서 수행한 것 (그림 1)과 priming 후 光質處理를 가한 (그림 2) 결과에서 도라지는 光 有無에 영향을 받지 않았으나 더덕은 priming 후 光質處理로 발아가 향상되는 반면, 만삼은 빛, 특히 白色光에서 현저히 억압되는 경향을 보여 Madakadze 등의 보고¹²⁾와 유사한 반응을 보였다. 따라서 만삼의 발아율이 지극히 낮고⁶⁾ 실제 포장에서는 自然光으로 인하여 발아가 억제될 것으로 보여 priming 처리로

Table 2. Mean seed germination and radicle length (RL) of *Campanulaceae* as influenced by priming and light quality

Parameters	Level	Dayas after sowing									
		3	4	5	6	7	8	9	5	7	9
	 % germination RL, cm		
Species (S)	PG [†]	0.5	6.4	31.8	62.9	83.2	89.3	91.8	0.09	0.57	1.39
	CL	0.3	13.4	35.5	55.0	68.2	74.2	79.0	0.15	0.85	2.41
	CP	0.0	0.2	8.1	24.3	37.9	46.9	52.7	0.01	0.37	1.76
	LSD. 05	0.3	2.1	6.2	6.5	6.0	5.1	4.7	0.05	0.11	0.17
Priming [‡] (P, mM)	0	0.4	8.4	27.4	47.7	62.8	69.2	73.5	0.08	0.58	1.85
	150	0.1	4.9	22.8	47.2	63.4	70.9	75.4	0.08	0.62	1.85
	LSD. 05	0.2	1.7	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Light (L) quality	Red	0.3	3.7	20.5	47.3	66.0	74.3	78.4	0.09	0.65	2.02
	White	0.3	9.1	28.5	43.4	55.9	62.3	66.5	0.09	0.53	1.47
	Dark	0.2	7.2	26.3	51.7	67.4	73.7	78.5	0.08	0.61	2.08
	LSD. 05	ns	2.1	6.2	6.5	6.0	5.1	4.7	ns	0.11	0.17
S×P		ns	**	**	**	**	**	**	ns	ns	ns
S×L		ns	**	**	**	**	**	**	ns	**	ns
P×L		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	*
S×P×L		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

[†] PG, *Platycodon grandiflorum*; CL, *Codonopsis lanceolata*; CP, *C. pilosula*.

[‡] Used with Ca(NO₃)₂ as priming chemical.

ns, *, ** Nonsignificant or significant at 0.05 or 0.01 probability, respectively.

입묘율을 증대하고자 할 경우 우선 이에 대한 포장 검증이 있어야 할 것이다.

2. 幼根伸長

各供試種에 priming 제, priming 농도 및 priming 처리기간을 달리 처리하여 幼根長을 측정 한 결과로서 각요인별 처리수준의 平均幼根長과 처리요인간 상호작용은 표 1과 같다. 도라지의 유근장은 치상 5일 후에는 더덕에서, 치상 9일 후에는 만삼에서 가장 길어 種間 反應이 상이한 것으로 나타났다. 한편 priming에 따른 반응으로서 KNO_3 보다는 $Ca(NO_3)_2$ 처리에서, 無處理 또는 처리농도가 가장 높은 300mM보다는 50 또는 150mM 처리에서 유근신장이 촉진되었던 반면, priming 처리기간에는 차이가 없었다.

유근장은 供試種, priming 제와 priming 농도간에 상호작용이 있는 것으로 분석되어 (표 1) 이들 요인의 처리수준에 따른 幼根長 變化를 圖示한 것은 그림 1과 같다. 他供試種에 비하여 도라지의 유근장은 KNO_3 보다는 $Ca(NO_3)_2$ 로 priming할 경우 치상 후 일수가 경과될수록 길어졌으며, 특히 $Ca(NO_3)_2$ 의 경우 150mM 이상에서는 치상 5일 후부터는 이러한 경향이 뚜렷하였다. 그러나 더덕에서는 두 priming 제 모두 처리농도 300mM에서 유근장이 짧아졌으나, 만삼에서는 치상 9일 후에 처리간 차이가 있었다 할지라도 농도간 일정한 경향은 없었다.

Priming 처리로 발아와 유근신장이 촉진된다는 Suzuki 등의 보고¹⁵⁾와 초롱꽃과 약용작물 종자는 $Ca(NO_3)_2$ 로 50~150mM로 처리할 때 발아율과 유근신장이 조장되며, 특히 만삼의 경우 priming 하지 않은 것보다는 priming 처리로 발아가 향상되는 본 시험결과는 상호 유사하다고 할 수 있다. 그러나 priming 처리 후, 즉 발아과정에서 처리되는 光有無¹⁾, 나아가 赤色光을 처리할 때 유근신장이 촉진된다는 보고¹⁴⁾와 유근신장은 priming과 光質의 단순효과에 의한다 할지라도 발아중 주어지는 光質에 따라 더덕과 만삼은 상이한 반응을 보인 본 시험결과 (표 1, 2)로부터 재배중인 초롱꽃과 약용작물의 종자는 육묘과정에서의 光條件에 따라 포장출현율이 다를 것으로 예측된다. 따라서 수분조절을 위한 priming 처리효과가 포장에서 유묘출현율로 이어질 것인가에 대하여는 추후 검토가 이루어져야 할 것으로 보인다.

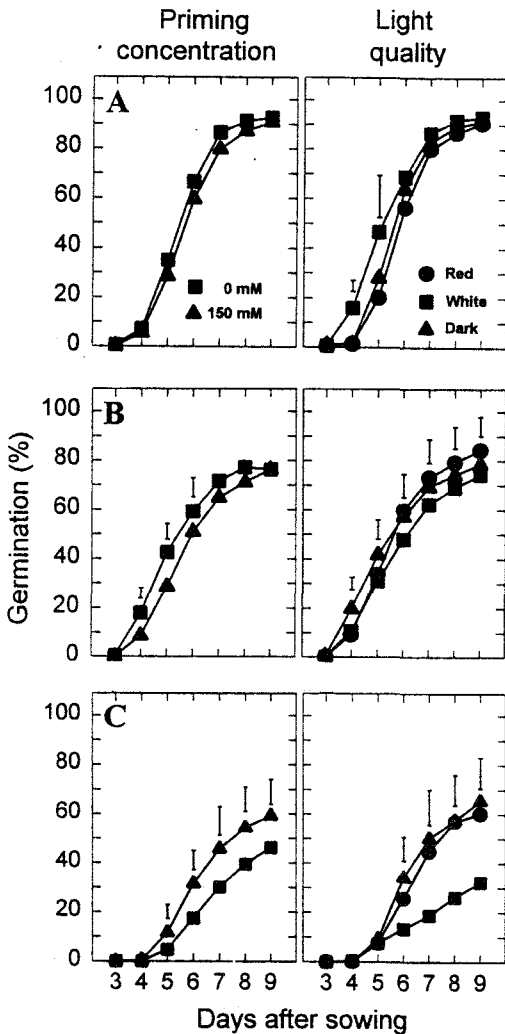


Fig. 2. Effect of priming concentration or light quality on seed germination (left-sided) and radicle elongation (right-sided) of Campanulaceae. Letters indicate A, *Platycodon grandiflorum*; B, *Codonopsis lanceolata* and C, *C. pilosula*. Vertical or no-vertical bars represent LSD.05 or non-significance for the same day after sowing, respectively.

摘 要

본 연구는 前報¹⁾에 이어 초롱꽃과 약용작물 중에서 농가에서 재배되고 있는 도라지, 더덕, 만삼 종자의 발아 및 유근신장에 미치는 priming 방법 (재료, 농도, 기간)과 priming 후 발아과정에서의 光質 (赤色光, 白色光, 暗狀態) 效果를 조사하여 입묘율 향상에 관한 정보를 제공하고자 실시하였던 바 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 平均發芽率은 priming 후 발아시 暗條件에서는 도라지, 만삼, 더덕 순으로 감소하였던 반면, priming 후 光質處理로 인하여 만삼에서는 발아가 억제되고 더덕에서는 발아가 향상되어 도라지, 더덕, 만삼 순으로 감소하였다.

2. 暗狀態로 수행된 priming 처리에서 처리기간 간에는 차이가 없었다 할지라도 KNO_3 보다는 $Ca(NO_3)_2$ 가, 無處理 또는 他處理濃度에 비하여 50~150mM에서 발아율과 유근신장이 향상되었다.

3. Priming 후 光質處理로 인한 발아율은 도라지에서는 priming 有無에는 차이가 없었던 반면, 더덕에서는 발아초기에, 만삼에서는 시간이 경과할수록 발아율이 향상되었다.

4. 발아중 白色光 處理는 더덕과 만삼에서 발아를 억제하였는데 이러한 경향은 만삼에서 큰 반면, 도라지에서는 초기발아가 조장되는 것으로 나타나 초롱꽃과 약용작물의 발아는 priming 후 주어지는 光質에 따라 변화됨을 알 수 있었다.

引用文獻

1. Barbarni, N.R. and M. Takaki. 1989. Osmotically induced high light sensitivity in seedling of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca. *Biologia Plantarum* 31 : 227 - 229.
2. Barden, J. A., R. G. Halfacre and D. J. Parrish. 1987. Environmental factors. p. 139 - 282. In J. A. Barden, R. G. Halfacre and D. J. Parrish (eds.). Plant Science. McGraw-Hill Book Co., New York, NY, USA.
3. Bewley, J. D. and M. Black. 1994. Dormancy and the control of germination. p. 199 - 271. In J. D. Bewley and M. Black (eds.). Seeds. Plenum Press, 233 Spring Street, New York, NY 10013, USA.
4. Bray, C. M.. 1995. Biochemical processes during the osmopriming of seeds. p. 767 - 789. In J. Kigel and G. Galili (eds.). Seed Development and Germination. Marcel Dekker, Inc., 270 Madison Avenue, New York, NY 10016, USA.
5. Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 1995. Seed enhancements. p. 258 - 276. In L. O. Copeland and M. B. McDonald (eds.). Principles of Seed and Technology (3rd ed.). Chapman & Hall, 29 West 35th Street, New York, NY 10001, USA.
6. 충북농촌진흥원. 1989. 주요약초 발아조사. 충북농시연보 89 : 205 - 206.
7. Deil'Aquila, A. and G. Taranto. 1986. Cell division and DNA-Synthesis during osmo priming treatment and following germination in aged wheat embryos. *Seed Sci. Tech.* 14 : 333 - 341.
8. Frett, J. J. and W. G. Pill. 1991. A Comparison of priming agents for tomato. *HortSci.* 26 : 1158 - 1159.
9. Haigh, A. M., and E. W. Barlow 1987. Germination and priming of tomato, carrot, onion and sorghum seeds in a range of osmotica. *J. Amca. Soc. Hort. Sci.* 112(2) : 202 - 208.
10. Kang, J. H., Y. S. Ryu, D. I. Kim, O. S. Lee and S. H. Kim. 1997. Effect of priming, temperature and light quality on germination of pokeweed (*Phytolacca americana*) seed. *Korean J. Crop Sci.* 42(2) : 153 - 159.
11. Kang, J. H. J. S. Park and Y. S. Ryu. 1997. Effect of prechilling, light quality and daily irradiation hours on seed germination in three *Campannulan* plants. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 5(2) : 131 - 138.

12. Madakadze, R., E.M. Chirco and A.A. Khan. 1993. Seed germination of three flower species following matriccondition under various environment. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113(3) : 330-334.
13. Nonogaki, H., H. Matsushima, and Y. Morohashi. 1992. Galactomannan hydrolyzing activity develops during priming in the micropylar endosperm tip of tomato seeds. Physiol. Plant. 85 : 167-172.
14. Rudniski, R.M. and E. Kaukovirta. 1991. The influence of seed uniformity, GA, and red light on germination and seedling emergence of *Nigella damascena* L. Seed Sci. Tech. 19 : 597-603.
15. Suzaki, H., S. Obayashi, J. Yamagishi and S. Inanaga. 1993. Germination and radicle growth characteristics of presowing-treated carrot seeds affected by low temperatures. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 62 : 143-148.