

상추 종자의 발아에 있어 광질 및 성장조절물질의 영향

황현정 · 이정명 · 김세영 · 최근원*

경희대학교 생명자원과학연구원

Seed Germination in Lettuce Affected by Light Quality and Plant Growth Regulators

Hyeon-Jeong Hwang, Jung-Myung Lee, Se-Young Kim, and Geun-Won Choi*

Institute of Life Science & Resources, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

Abstract. Lettuce, a typical light-induced seed germination type, exhibits different germination responses according to cultivars, light quality, and plant growth regulator (PGR) treatments. Germination rates in most tested cultivars were over 85% under both white and red light, and were slightly decreased by blue light. Although photo-inhibition in germination was observed from most cultivars by far-red light, 'Cheongguang-cheongchima', 'Okdol', and 'Manchudaecheongchima' could be classified as photo-insensitive lettuce cultivars by exhibiting the germination rates as 78, 63, and 48% under far-red light, respectively. 6-Benzylamino purine (BAP) and kinetin promoted seed germination and normal seedling production under far-red light, but ethephon did not show any positive effects. Cytokinins such as BAP, kinetin, thidiazuron (TDZ), and zeatin overcame photo-inhibition of seed germination even the concentration of below $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. However, auxins such as IBA, 2,4-D, and NAA failed to overcome the far-red light-induced photo-inhibition.

Key words : cultivars, germination, light quality, PGR

*Corresponding author

서 언

상추(*Lactuca sativa* L.)는 기존의 쌈용 뿐만 아니라 샐러드용 및 어린잎 채소(baby vegetable) 등으로 그 이용가치가 한층 높아져 보다 다양한 품종들에 대한 수요가 급증하고 있는 엽채류 작물이다. 그러나 상추 종자의 까다로운 발아특성은 상추의 주년재배 시 큰 문제점으로 부각되어 왔는데 그 주요 원인으로는 품종별 유전적 특성과 종자 자체의 까다로운 구조 및 여러 환경요인에 민감하게 영향을 받는 특성을 들 수 있다(Damania, 1986; Cantliffe 등, 2000; Takeba, 1983).

전형적인 광발아 종자인 상추는 광의 유무 및 광질의 영향을 크게 받는다(Choi 등, 2003; Khan, 1977). 적색광에서 가장 발아가 촉진되며 초적색광에서는 대부분의 품종에서 광발아억제현상을 일으켜 발아가 심하게 제한을 받게 되는데(Borthwick 등, 1954; Carpita

와 Nabors, 1976), 이러한 현상은 광질에 따라 식물체 내의 phytochrome이라는 광수용성 단백질에 의해 유발된다(Hopkins, 1999; Kendrick과 Kronenberg, 1994).

또한 상추 종자의 발아는 종자 내의 발아촉진물질과 발아억제물질간의 상호작용에 의해 조절된다(Abeles, 1986; Khan, 1968). 발아억제물질인 Abscisic acid (ABA)는 발아불량환경 하에서 그 수준이 높아지는데, ABA 단독으로 발아에 영향을 미치기보다는 다른 성장 조절물질 및 환경조건 등에 연계되어 휴면유발 및 유지에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Gonai 등, 2004; Roth-Bejerano 등, 1999). 이러한 ABA의 발아억제효과는 cytokinin이나 ethylene의 영향에 의해서도 해소됨이 보고되었다(Dunlap과 Morgan, 1977). Cytokinin의 발아촉진 및 휴면타파 작용은 많은 식물에서 잘 알려져 있으며, 상추에서도 내생 cytokinin인 zeatin, kinetin 뿐만 아니라 합성된 6-benzylamino

Table 1. Basic information on 12 cultivars used for this experiment.

Leaf type	No.	Cultivar name	Abbreviation	Pericarp color	Leaf color	Packing date	Producing country	Distributing company
Cutting	1	Manchudae-	MC	Ivory	Green	2004.05	Chile	Hungnong
	2	Jeoksam-	JS	Ivory (F) ²	Red	2005.08	Australia	Asia
Grass	3	Cheong-	CG	Ivory (F)	Green	2005.01	Australia	New Seoul
	4	Grand rapids	GR	Dark Brown	Green	2005.09	USA	Kyoungshin
	5	Grand rapids-	GT	Dark Brown	Green	1997.01	USA	Ferry Morse
	6	Duksum-	DS	Dark Brown	Green	2003.12	Italy	Hungnong
Crisphead	7	Regina	RE	Dark Brown	Green	2005.04	Italy	Jeil
	8	Okdol	OD	Dark Brown	Green	2005.05	USA	Taewoo
Butterhead	9	Red Gyeolku	RG	Dark Brown	Red	2005.04	Italy	Jeil
Romaine	10	Bimitasu	BM	Ivory (F)	Green	2004.06	Taiwan	Tokita
Lollo	11	Red Lollo	RL	Ivory	Red	2005.04	Italy	Jeil
Oakleaf	12	Oak Green	OG	Dark Brown	Green	2005.07	Italy	Asia

²(F): Seeds treated with fungicides.

purine(BAP) 등이 발아촉진 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다(Black 등, 1974; Khan과 Prusinski, 1989). 상추 종자의 발아능력은 종자 내 ethylene의 농도와도 관련된다(Khan과 Huang, 1988; Kozarewa 등, 2006). 상추의 경우 ethylene은 발아적온상태와 발아억제조건 모두에서 효과가 있지만, 그 정도는 품종에 따라 상이하다(Abeles, 1986). 식물체 내에서 정부우세성, 측근발생, 도관 분화 및 신초 신장 등의 역할을 하는 auxin은 종자 내 세포벽을 팽창시키며, GA에 의한 α -amylase의 활성을 촉진하는 데에도 관여하는 것으로 알려져 있다(Beweley와 Black, 1994). Cytokinin이나 ethylene, ABA 모두 종자 내생 auxin 수준에 영향을 미치는데, auxin은 종자 내 세포팽창과 관련된 구조적 조성물질로서 발아에 관여한다(Choi 등, 2003; Khan, 1977). 그러나 상추 종자에 있어서 auxin의 처리는 그리 많이 보고되지 않고 있다.

본 연구는 우리나라에서 수집 가능한 다양한 품종의 상추 종자를 대상으로 품종별 광 반응성 및 초적색광 하에서 생장조절물질에 대한 발아 특성을 구명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 공시재료

우리나라에서 유통, 판매되는 상추 12품종을 수집하

여 공시재료로 사용하였다. 7가지의 다양한 엽형과 종피(식물학적으로는 과피)의 색, 엽색, 포장 시기 및 채종 국가와 판매 회사를 최대한 달리하여 구성, 수집하였다(Table 1).

2. 광질 처리

공시품종에 대한 광질 반응성의 차이를 알아보기 위해 백색형광등과 3가지 LED Plant Radiation System (Good Feeling Co. Korea)을 BOD incubator 내에 설치하였는데, 백색광으로 white fluorescence(20W)를, 고감도 발광다이오드(light emitting diodes: LED)로 적색광(660nm), 청색광(460nm), 초적색광(730nm) LED가 근접조사 되도록 사용하였다. 실험 시 처리된 광질 이외의 불필요한 광선에 대한 노출을 막기 위해 실험실 전체를 암조건으로 만들었으며, 모든 처리와 조작들은 광화학적인 활성이 없다고 판단되는 안전광(녹색광) 하에서 수행되었다. BOD incubator 내부의 온도는 20°C를 유지하였으며 24시간 연속광 조건으로 발아시켰다.

3. 생장조절제 처리

실험환경은 발아온도 20°C에서 LED를 초적색광(730nm)으로만 근접조사 되도록 설치한 후 실시하였다. 모든 공시품종에 대해 무처리구와 생장조절제 BAP, kinetin 및 ethylene 발생제인 ethephon을 각각 50

mg·L⁻¹씩 처리하였다. 공시품종 중 ‘RE’와 ‘RL’에 대하여 2차 생장조절제 검정을 시행하였다. Cytokinin 계열의 생장조절제로 BAP, kinetin, TDZ, zeatin과 ethephon을 각각 0, 1, 5, 25, 50, 100mg·L⁻¹ 단용 처리하여 보다 세분화된 생장조절물질의 종류 및 농도에 대한 종자 반응성을 조사하였다. 또한 BAP 1 및 5mg·L⁻¹과 auxin계열인 IBA, 2,4-D, NAA, 0, 0.1, 1mg·L⁻¹을 단용 또는 혼용처리하여 실험하였다.

4. 파종 및 조사

종자의 파종은 직경 9.0×높이 2.0cm petri-dish에 여과지(Whatman no. 1)를 2장씩 간 후 품종 당 50립의 종자를 완전임의배치법으로 정렬하여 3반복 실시하였고 첨가되는 수분은 증류수를 이용하였다. 생장조절제 처리의 경우 휘산성을 막기 위해 petri-dish는 모두 밀봉처리하여 최초 3일간은 같은 농도를 유지하도록 하였다. 조사 시 모든 처리와 조작은 안전광인 녹색광 하에서 진행하였다. 조사는 파종 후 유근이 2mm 이상 돌출된 것을 발아된 것으로 간주하여 총 7일간 실시하였고, 파종 4일 후를 발아세, 파종 7일 후를 최종발아율로 하였다. 또한 생장조절물질 처리 시에는 정상유묘출현율도 조사하였는데 유묘는 2장의 자엽 및 배측과 뿌리가 모두 출현한 개체를 대상으로 파종 7일 후 조사하였다. 실험결과와 통계처리는 SAS system(ver. 6.2)을 이용하여 다중검정을 실시하였다.

결 과

1. 광질에 따른 종자발아

총 7일간의 조사를 토대로 한 평균발아율의 변화는 전체적으로 광질에 따라 많은 차이를 보였고 발아 증가 속도도 확연히 구분되었다. 백색광과 적색광에서는 파종 1일 후 50% 이상의 빠른 발아세를 보인 반면 청색광에서는 발아가 더디게 이루어졌고, 초적색광에서는 강한 발아억제효과를 보였다. 백색광과 적색광은 파종 3일 후 92% 이상 발아되었으며, 광질의 종류에 상관없이 파종 4일 후의 발아세와 최종발아율의 차이는 크게 나지 않았다(Fig. 1).

광질별 발아양상을 품종과 연계하여 살펴보면(Fig. 2) 백색광과 적색광 하에서는 ‘DS’를 제외하고 모든 품종에서 파종 2일 후부터 발아율 50% 이상이었으며

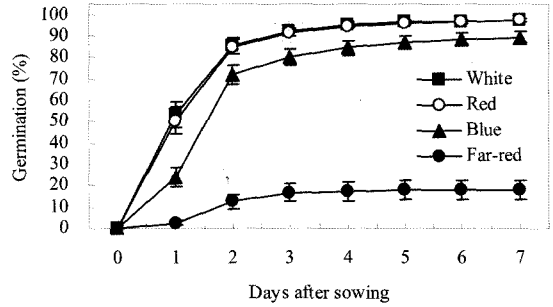


Fig. 1. Change in mean germination percentage of various lettuce cultivars affected by light quality. White: white fluorescence (20 w), Red: LED 660 nm, Blue: LED 460 nm, Far-red: LED 730 nm.

최종발아율도 전 품종에서 92% 이상으로 양호하였다. 청색광에서는 대부분의 품종에서 파종 2일 후의 초기 발아가 앞서의 두 광질과 달리 느리게 진행되었으며, 특히 ‘DS’와 ‘RL’은 최종발아율도 백색광 및 적색광과 비교해 26% 이상 낮게 나타났다. 초적색광의 경우에는 대부분의 품종에서 발아가 억제되었지만 ‘CG’는 78%의 최종발아율을 나타내어 다른 품종과 비교해 발아억제가 일어나지 않은 것으로 생각되었고 ‘OD’는 63%, ‘MC’도 48% 이상 발아하여 초적색광에 대해 둔감한 품종들로 판단되었다.

2. 생장조절제 처리에 따른 종자발아

대부분의 품종에서 BAP와 kinetin은 초적색광 하에서 발아촉진효과를 나타내었으나 ethephon 처리에서는 무처리구와 비교해 거의 효과가 나타나지 않았다. 파종 4일 후 BAP 처리 효과는 총 7품종에서 무처리구에 비해 유의성이 인정되었다. Kinetin에 의한 발아촉진효과는 ‘CG’, ‘GT’, ‘DS’를 제외하고 모든 품종에서 인정되었으며, 특히 ‘OG’는 무처리구와 비교해 BAP, kinetin에 의한 발아촉진효과가 70% 이상 높아졌다. 하지만 ethephon 처리의 효과는 모든 품종에서 나타나지 않았다. 파종 7일 후 BAP 처리는 총 8품종에서, kinetin 처리는 10품종에서 무처리구보다 유의성이 있었다. 품종별로 보면 ‘DS’는 모든 종류의 생장조절제 처리 유무에 상관없이 발아가 불량하였다. 이에 반해 ‘OD’와 ‘OG’는 BAP와 kinetin 처리에 의해 최종발아율이 90% 이상으로 매우 양호하게 회복되었다 (Table 2).

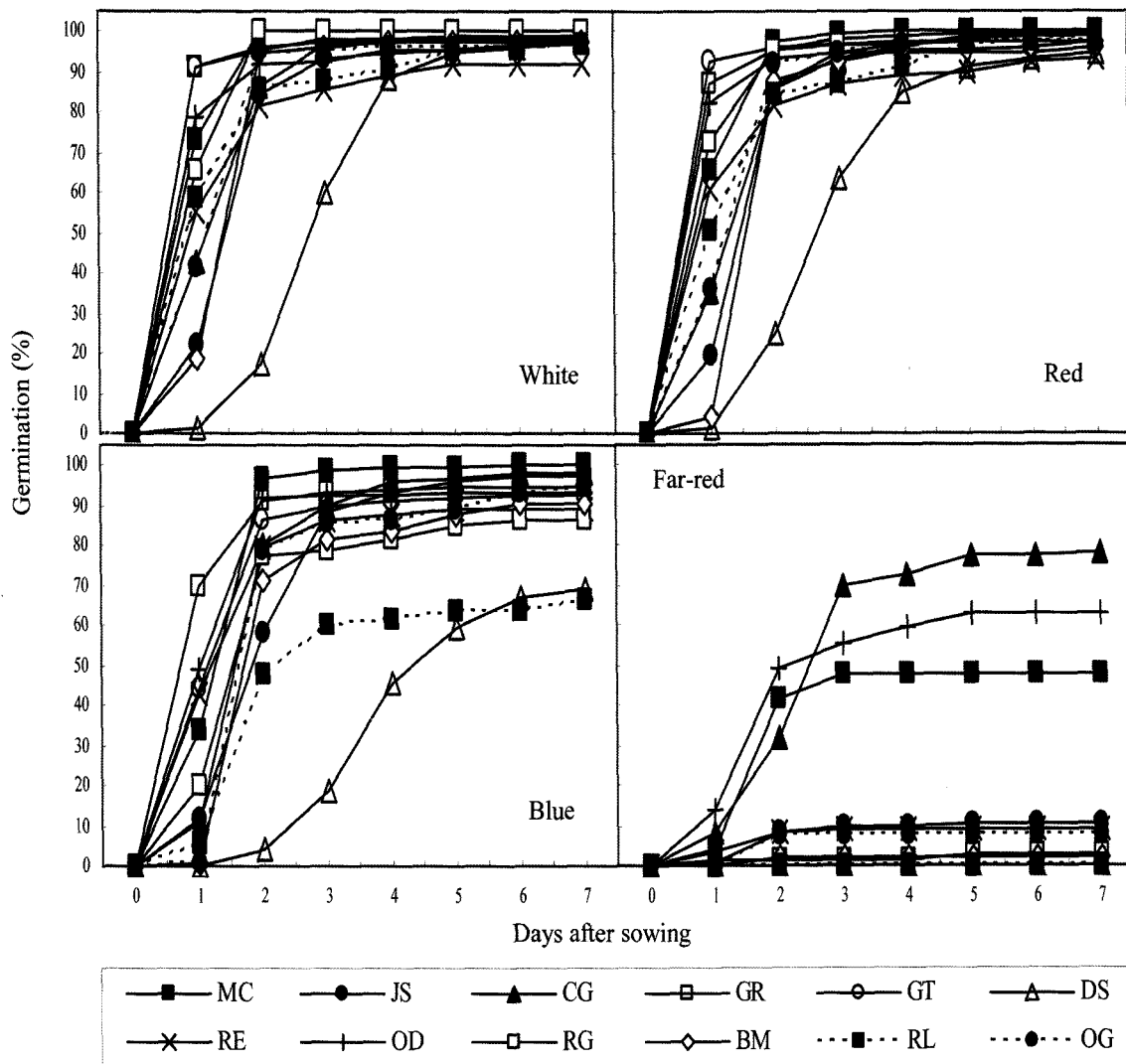


Fig. 2. Changes in germination percentage of various lettuce cultivars affected by light quality provided by LED lights. Germination percentage was obtained from 50 seeds with 3 replications per treatment. White: white fluorescence (20 w), Red: LED 660 nm, Blue: LED 460 nm, Far-red: LED 730 nm.

초적색광 하에서 'RE'와 'RL'을 대상으로 한 생장 조절제의 처리결과는 Table 3과 같다. 평균적으로 cytokinin 계열 생장조절제의 처리는 모든 농도범위에서 무처리구와 비교 시 발아 및 정상유묘출현율을 촉진하였으며, 특히 TDZ가 제일 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 ethephon 처리에 의해서는 초적색광에 의한 발아억제가 개선되지 않았다. 'RE'는 BAP 처리 시 $25\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이하 저농도에서 발아가 증가되었고, kinetin 5, 25, $50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 에서 발아세 및 최종발아율이 60% 이상으로 나타났으며, TDZ는 모든 농도범위에서

70% 이상의 양호한 발아세와 최종발아율을 나타내었다. Zeatin의 경우는 $25\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상의 범위에서 수치상으로 효과가 있었으나 농도에 따른 유의성은 나타나지 않았다. 정상유묘출현율 또한 cytokinin류 처리구가 무처리구에 비해 높게 나타났으며 TDZ $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 에서 60%로 가장 높았다. 'RL'의 발아세와 최종발아율은 BAP $1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 에서, 정상유묘출현율은 TDZ $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 에서 가장 높게 나타났다. 반대로 $25\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상 고농도의 BAP와 kinetin $1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 및 $25\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상의 범위에서는 발아세 및 최종발아율이 떨어지는

상추 종자의 발아에 있어 광질 및 생장조절물질의 영향

Table 2. Germination percentages of various lettuce cultivars affected by BAP, kinetin, and ethephon treatments under far-red light.

No.	Cultivar	Germination (%)			
		Control	BAP ²	Kinetin	Ethephon
4 days after sowing					
1	MC	32.0 b ^y	29.3 b	76.0 a	39.3 b
2	JS	12.0 b	41.3 a	49.3 a	7.3 b
3	CG	75.3 a	56.0 ab	67.3 a	43.3 b
4	GR	0.7 c	10.7 b	20.7 a	2.0 c
5	GT	0.0 b	20.0 a	14.7 ab	0.0 b
6	DS	0.0 b	0.0 b	1.3 b	0.0 b
7	RE	18.7 b	44.7 a	65.3 a	17.3 b
8	OD	58.0 b	94.0 a	94.7 a	69.3 b
9	RG	0.7 b	6.0 b	16.0 a	1.3 b
10	BM	4.0 b	21.3 a	27.3 a	8.0 b
11	RL	0.0 b	6.0 b	16.0 a	0.0 b
12	OG	10.7 b	86.7 a	86.7 a	9.3 b
7 days after sowing					
1	MC	32.7 b	30.0 b	84.0 a	39.3 b
2	JS	13.3 c	45.3 b	70.7 a	8.0 c
3	CG	79.3 a	64.7 ab	76.7 a	48.7 b
4	GR	1.3 c	17.3 b	35.3 a	3.3 bc
5	GT	0.0 b	30.7 a	36.0 a	0.0 b
6	DS	0.0 a	4.7 a	17.3 a	0.0 a
7	RE	18.7 b	57.3 a	76.7 a	18.0 b
8	OD	61.3 b	96.0 a	95.3 a	72.0 b
9	RG	0.7 c	11.3 b	44.7 a	2.0 c
10	BM	4.7 c	35.3 ab	58.7 a	13.3 ab
11	RL	0.0 b	7.3 b	26.0 a	0.0 b
12	OG	10.7 b	92.0 a	92.0 a	11.3 b

²All PGRs were treated with the concentration of 50 mg·L⁻¹.

^yMean separation within a line by Duncan's multiple range test at 5%.

편이었고, zeatin에서도 타 처리구에 비해 1mg·L⁻¹의 저농도에서 발아가 저해되는 것으로 조사되었다. 정상유묘출현율도 생장조절제 반응에 있어 발아율과 같은 양상을 나타내었다. 'RL'의 경우는 'RE'에 비해 시일이 지날수록 발아율이 올라가 초적색광 하에서 생장조절제의 효과가 보다 천천히 나타나는 것으로 추측되었다.

BAP와 auxin 계열 IBA, 2,4-D 그리고 NAA를 단일 또는 혼용하여 사용하는 경우 반응성을 나타낸 결과는 'RE'와 'RL' 모두 auxin 계열의 생장조절제 보다는 BAP에 의해 발아가 좌우되었으며, auxin과

BAP의 혼용처리에 의한 상승효과는 뚜렷이 나타나지 않았다. 'RE'는 2,4-D 0.1mg·L⁻¹와 BAP 5mg·L⁻¹ 혼용처리 시 발아율 60%, 최종발아율 71%로 가장 높았으며 정상유묘출현율은 BAP 1mg·L⁻¹ 단일처리구가 37%로 양호한 수치를 보여주었으나 BAP 1mg·L⁻¹ 단일처리 및 BAP와 IBA, 2,4-D, NAA의 혼용처리와 비교 시 유의차가 인정되지 않았다. Auxin 계열 생장조절제는 종류별 효과가 모두 비슷하게 나타났고, 농도별로 1mg·L⁻¹ 보다는 0.1mg·L⁻¹의 발아상승효과가 인정되었다. 혼용처리 시 반응성은 IBA, 2,4-D, NAA

Table 3. Germination and normal seedling percentages of ‘RE’ and ‘RL’ lettuces affected by various cytokinins and ethephon treatments under far-red light.

Treatment (mg·L ⁻¹)	‘Regina’ (RE)			‘Red Lollo’ (RL)		
	Germination (%)		Normal seedling (%) ^y	Germination (%)		Normal seedling (%)
	4 DAS ^z	7 DAS		4 DAS	7 DAS	
Control	23.3 hi ^x	23.3 ij	21.3 f-i	0.0 f	0.0 e	0.0 f
BAP 1	62.0 b-e	72.0 a-d	43.4 a-f	79.3 a	92.7 a	35.2 abc
BAP 5	69.3 a-d	80.0 a-d	44.8 a-e	72.0 abc	87.3 a	44.8 ab
BAP 25	66.0 a-d	77.3 a-e	48.6 a-d	18.7 ef	34.7 d	12.7 def
BAP 50	58.7 c-f	62.0 d-g	36.9 b-h	4.7 ef	8.0 e	2.2 f
BAP 100	42.0 fg	53.3 gh	34.5 b-i	2.7 ef	4.7 e	0.0 f
Kinetin 1	38.7 gh	39.3 hi	30.7 c-i	48.7 cd	60.7 c	28.1 a-d
Kinetin 5	58.7 c-f	67.3 b-g	36.8 b-i	68.7 abc	86.0 a	42.0 abc
Kinetin 25	60.7 cde	75.3 a-d	28.4 d-i	60.0 abc	66.7 bc	21.0 b-e
Kinetin 50	59.3 c-f	68.7 a-g	23.0 e-i	24.7 ef	40.0 d	12.6 def
Kinetin 100	45.3 efg	59.3 efg	19.2 ghi	2.7 ef	11.3 e	0.0 f
TDZ 1	78.0 abc	81.3 abc	56.7 ab	76.7 ab	90.0 a	45.3 ab
TDZ 5	81.3 a	86.0 ab	49.3 a-d	70.7 abc	87.3 a	48.0 a
TDZ 25	80.0 ab	86.7 a	52.7 abc	65.3 abc	82.0 ab	31.3 a-d
TCZ 50	73.3 a-d	78.7 a-d	48.7 a-d	65.3 abc	83.3 ab	34.7 abc
TDZ 100	78.0 abc	85.3 abc	60.7 a	52.7 bc	80.0 ab	30.0 a-d
Zeatin 1	54.7 d-g	58.0 fg	48.7 a-d	27.3 de	31.3 d	26.0 a-d
Zeatin 5	62.0 b-e	66.7 b-g	47.3 a-d	54.7 abc	65.3 bc	39.3 abc
Zeatin 25	68.0 a-d	76.7 a-f	45.3 a-e	74.7 abc	90.7 a	43.3 ab
Zeatin 50	77.3 abc	79.3 a-d	41.3 a-g	70.0 abc	89.3 a	30.7 a-d
Zeatin 100	62.0 b-e	69.3 a-g	34.7 b-i	64.0 abc	83.3 ab	24.0 b-e
Ethephon 1	16.7 i	19.3 j	16.8 hi	4.0 ef	4.0 e	3.3 ef
Ethephon 5	22.7 hi	24.0 ij	15.8 hi	0.0 f	0.0 e	0.0 f
Ethephon 25	21.3 hi	22.0 j	19.4 ghi	4.0 e f	4.0 e	3.3 ef
Ethephon 50	19.3 i	20.7 j	15.3 hi	2.0 ef	2.0 e	0.7 f
Ethephon 100	20.0 i	20.7 j	13.7 i	2.0 ef	2.0 e	1.3 f

^zDays after sowing.

^yNormal seedling/Total number of produced seedlings × 100 (%).

^xMean separation within a column by Duncan’s multiple range test at 5%.

모두에서 BAP 5mg·L⁻¹와의 혼용이 BAP 1mg·L⁻¹ 보다는 다소 발아를 증가시키는 결과를 나타내어 단용 처리 시에는 부각되지 않았던 BAP 농도간의 차이가 드러났다. ‘RL’은 BAP 5mg·L⁻¹ 단용처리에서 발아세, 최종발아율 및 정상유묘출현율 모두 가장 높은 수치를 나타내었다. Auxin류만을 단독으로 처리하는 경우에는 무처리구와 더불어 전혀 발아가 이루어지지 않았다. 정상유묘출현율은 BAP 1mg·L⁻¹ 단용처리와 IBA 0.1 mg·L⁻¹과 BAP 1 또는 5mg·L⁻¹ 혼용처리에서만

25% 정도 이루어졌을 뿐 대부분의 처리구에서 낮은 형성정도를 나타내었다(Table 4).

고 찰

광질에 따른 반응에 있어 적색광에 대한 민감성을 가지고 있는 상추 종자가 백색광 하에서도 발아가 촉진된 이유는 백색광의 조사는 광발아종자의 경우 발아 촉진적인 분광(spectrum)의 합계가 억제적인 분광의

상추 종자의 발아에 있어 광질 및 성장조절물질의 영향

Table 4. Germination and normal seedling percentages of 'RE' and 'RL' lettuces affected by various auxins and BAP treatments under far-red light.

Treatment (mg · L ⁻¹)	'Regina' (RE)			'Red Lollo' (RL)		
	Germination (%)		Normal seedling (%) ^y	Germination (%)		Normal seedling (%)
	4 DAS ^z	7 DAS		4 DAS	7 DAS	
Control	15.3d ^x	15.3 e	14.7 def	1.3 c	2.0 de	1.3 e
BAP 1	59.3 ab	60.0 abc	37.3 a	70.0 a	74.7 a	35.3 a
BAP 5	57.3 ab	66.0 ab	35.3 ab	48.0 abc	60.7 abc	20.0 bc
IBA 0.1	11.3 e	11.3 e	10.0 efg	0.0 c	0.0 e	0.0 e
IBA 0.1+BAP 1	42.0 abc	49.3 bcd	24.0 bcd	57.3 ab	70.0 a	24.7 ab
IBA 0.1+BAP 5	54.7 abc	66.0 ab	34.7 abc	42.0 abc	56.7 abc	25.3 ab
IBA 1	8.0 e	8.7 e	7.3 efg	0.0 c	0.0 e	0.0 e
IBA 1+BAP 1	37.3 bc	41.3 d	18.7 de	24.0 abc	40.7 a-e	4.0 de
IBA 1+BAP 5	53.3 abc	63.3 abc	26.0 a-d	28.7 abc	41.3 a-e	6.0 de
2,4-D 0.1	8.7 e	8.7 e	6.0 fg	2.0 c	2.0 de	0.0 e
2,4-D 0.1+BA 1	38.0 abc	45.3 cd	18.7 de	48.7 abc	66.0 ab	15.3 v
2,4-D 0.1+BA 5	60.0 a	71.3 a	36.7 a	38.7 abc	55.3 abc	7.3 de
2,4-D 1	4.0 e	5.3 e	2.0 g	0.0 c	0.0 e	0.0 e
2,4-D 1+BA 1	32.7 cd	39.3 d	4.0 fg	37.3 abc	62.0 abc	0.0 v
2,4-D 1+BA 5	53.3 abc	64.7 ab	5.3 fg	39.3 abc	52.7 abc	1.3 e
NAA 0.1	6.0 e	8.0 e	5.3 fg	0.0 c	0.0 e	0.0 e
NAA 0.1+BA 1	51.3 abc	54.0 a-d	23.3 cd	38.0 abc	52.7 abc	6.7 de
NAA 0.1+BA 5	58.0 ab	68.0 ab	34.0 abc	36.0 abc	46.0 a-d	10.7 cde
NAA 1	3.3 e	3.3 e	3.3 fg	0.0 c	0.0 e	0.0 e
NAA 1+BA 1	37.3 bc	39.3 d	2.7 fg	6.0 c	16.7 cde	0.0 e
NAA 1+BA 5	42.0 abc	57.3 a-d	5.3 fg	18.0 bc	24.0 b-e	0.0 e

^zDays after sowing.

^yNormal seedling/Total number of produced seedlings × 100 (%).

^xMean separation within a column by Duncan's multiple range test at 5%.

합계보다 크게 되기 때문에 분석되며(Hartman 등, 1997), 청색광 및 초적색광의 발아억제현상은 phytochrome의 형태 변화, cryptochrome 및 phototropine의 청색광 흡수에 기인된 결과로 판단된다(Lin, 2002). 상추는 초적색광에 의해 대부분 발아가 억제되지만, 그 반응성은 품종별로 달랐는데, 그 이유는 유전자형에 의하기도 하지만, 종자의 성숙과 관련하여서도 설명할 수 있는데, 모종로부터 채종 1, 2개월 된 종자는 극히 광에 민감하지만 시일이 지날수록 감소되어 6개월 이상 지나면 둔감해지면서 광발아성 품종인 'Grand Rapids'도 초적색광 조사 이후에도 86% 이상 발아하였다는 경우가 이를 뒷받침한다(Suzuki 등, 1980). 따라서 상추 종자의 발아에 있어 심한 차광 및 암상태에서 파종하는 것은 피해야 균일한 발아세 및

건전 유묘 획득에 유리할 것이며 비닐하우스 재배 등에서 청색 필름의 사용 또한 억제할 필요가 있다고 여겨진다.

Cytokinin의 효과 중의 하나로서 종자 내생의 발아 억제물질인 ABA의 작용을 상쇄시켜 α-amylase 생합성의 억제를 회복시키고(Khan, 1968), 세포분열을 촉진시켜 종자의 발아를 향상시킬 수 있는데(Herrera-Teigeiro 등, 1999), 본 실험에서도 특히 cytokinin류의 처리에 의해 초적색광의 종자발아 억제효과가 상당히 상쇄된 것은 앞서 기술한 효과들이 각각의 품종에 효과적으로 작용하였기 때문으로 추측된다. 본 실험에서 다양한 품종들을 대상으로 ethylene을 처리하였으나 특이할만한 발아촉진효과를 나타내지 않았다. 상추 종자에서 ethylene의 작용이 품종 및 seed lot에 따라

매우 상이할 수 있음은 'Grand Rapids'에 5분간의 초적색광 조사 후 ethylene $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 를 처리한 경우 발아가 촉진되었으나(Speer, 1974), 다른 보고에서는 별다른 효과가 없었고(Abeles와 Lonski, 1969), 24시간 연속 초적색광 하의 종자에 ethylene $2\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 를 처리한 결과 grass 엽형의 4품종 중 1개에서만이 발아 촉진이 이루어졌음에서도 보고된 바가 있다(Han, 2002). Auxin은 세포팽창과 세포벽 신장에 관여하는 생장조절제로서 상추와 관련하여 auxin에 의한 발아촉진작용은 32kDa 상당의 몇몇 polypeptide의 합성을 증진시켜 수용성 단백질 함량의 증가와 동반되어 일어난다(Macisaac 등, 1996). 본 실험에서 공시된 모든 종류의 auxin의 효과는 뚜렷이 나타나지 않았고, BAP에 의한 발아촉진 효과만 두드러졌는데, 상추 종자에 있어서는 천연 auxin으로 알려진 IAA를 10^{-1}M 처리하여 발아를 촉진시켰지만(Choi 등, 2003), 암상태에서 10^{-7}M 이상의 처리는 발아를 억제시키는 등(Robertson 등, 1976) 다양한 반응성을 나타내어 앞으로 본 연구결과를 이용하여 auxin에 따른 효과를 구명할 만한 연구가 계속 수행되어야 할 것으로 생각된다. 상추 종자에 있어서 초적색광에 의해 유발된 발아억제현상의 타과에는 TDZ가 농도별로 고르게 효과적이었지만 BAP를 $5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이하로 처리하는 것 만으로도 발아불량환경 하에서 충분히 효과를 나타내었으므로 시중에 손쉽게 구입하여 사용할 수 있고 가격도 저렴한 BAP를 이용하여도 무방할 것으로 여겨진다.

적 요

상추는 전형적인 광발아 종자로서 품종별, 광질 및 생장조절물질 등의 영향을 크게 받는다. 대부분의 품종은 백색광과 적색광 하에서는 85% 이상의 발아율을 보였으나, 청색광에서는 발아세가 저하되었으며, 초적색광에서는 거의 모든 품종에서 발아가 되지 않아 광에 의한 발아억제효과가 인정되었다. 'Cheongguang-cheongchima'는 초적색광 하에서도 78%, 'Okdol'은 63%, 'Manchudaechongchima'도 48% 이상의 발아율을 나타내어 이들 품종은 광에 둔감한 품종으로 분류되었다. 초적색광의 발아 불량조건 하에서 BAP와 kinetin은 종자발아 및 정상유묘출현율을 촉진시킨 반면, ethephon은 효과적이지 못하였다. BAP, kinetin,

TDZ, zeatin과 같은 cytokinin류는 $50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이하로 처리하여 초적색광에 의한 발아억제효과가 상쇄되었으나, IBA, 2,4-D, NAA의 auxin류는 별다른 극복효과를 나타내지 않았다.

주제어 : 발아, 품종, 광질, 생장조절물질

사 사

이 연구는 2004년도 경희대학교 연구비지원사업에 의해 이루어진 것임(KHU 20040057).

인 용 문 헌

1. Abeles, F.B. 1986. Role of ethylene in *Lactuca sativa* cv. Grand Rapids seed germination. *Plant Physiol.* 81(3):780-787.
2. Abeles, F.B. and J. Lonski. 1969. Stimulation of lettuce seed germination by ethylene. *Plant Physiol.* 44(2):277-280.
3. Beweley, J.D. and M. Black. 1994. *Seed physiology of development and germination.* Plenum Press, N.Y.
4. Black, M., J.D. Beweley, and D. Fountain. 1974. Lettuce seed germination and cytokinins: their entry and formation. *Planta* 117(2):145-152.
5. Borthwick, H.A., S.B. Hendricks, E.H. Toole, and V.K. Toole. 1954. Action of light on lettuce seed germination. *Bot. Gaz.* 115(3):205-225.
6. Cantliffe, D.J., Y. Sung, and W.M. Nascimento. 2000. Lettuce seed germination. *Hort. Rev.* 24:229-275.
7. Carpita, N.C. and M.W. Nabors. 1976. Effects of 35 heat treatments on photosensitive 'Grand Rapids' lettuce seed germination. *Plant Physiol.* 57(4):612-616.
8. Choi, B.H., B.H. Hong, G.H. Kang, J.G. Kim, S.H. Kim, and T.G. Min. 2003. *Seed Science.* Hyang-Mun Press, Seoul, Korea.
9. Damania, A.B. 1986. Inhibition of seed germination in lettuce at high temperature. *Seed Res.* 14(2):177-184.
10. Dunlap, J.R.M. and P.W. Morgan. 1977. Reversal of induced dormancy in lettuce by ethylene, kinetin, and gibberellic acid. *Plant Physiol.* 60(2):222-224.
11. Gonai, T., S. Kawahara, M. Tougou, S. Satoh, T. Hashiba, N. Hiral, H. Kawaide, Y. Kamiya, and T. Yoshioka. 2004. Abscisic acid in the thermoinhibition of lettuce seed germination and enhancement of its catabolism by gibberellin. *J. Exp. Bot.* 55:111-118.
12. Han, D.H. 2002. Evaluation of major characteristics in cultivar groups of lettuce (*Lactuca sativa*). M.S. thesis, Kyung Hee Univ., Korea.

13. Hartman, H.T., D.E. Kester, F.T. Davis, Jr, and R.L. Geneve. 1997. *Plant Propagation: Principles and Practices*. 5th ed, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J. USA.
14. Herrera-Teigeiro, I., L.F. Jimenez-Garcia, and J.M. Vazquez-Ramos. 1999. Benzyladenine promotes early activation of p34 (cdc2)-like kinase(s) during maize germination. *Seed Sci. Res.* 9:55-62.
15. Hopkins, W.G. 1999. *Introduction to plant physiology*. John Wiley & Sons, Inc., N.Y. USA.
16. Kendrick, R.E., and G.H.M. Kronenberg. 1994. *Photomorphogenesis in plants*. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands.
17. Khan, A.A. 1968. Inhibition of gibberellic acid-induced germination by abscisic acid and reversal by cytokinins. *Plant Physiol.* 43(9):1463-1465.
18. Khan, A.A. 1977. The physiology and biochemistry seed dormancy and germination. Elsevier/North-Holland Inc., N.Y. USA.
19. Khan, A.A. and J. Prusinski. 1989. Kinetin enhanced 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid utilization during alleviation of high temperature stress in lettuce seeds. *Plant Physiol.* 91(2):733-737.
20. Khan, A.A. and X.L. Huang. 1988. Synergistic enhancement of ethylene production and germination with kinetin and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid in lettuce seeds exposed to salinity stress. *Plant Physiol.* 87(4):847-852.
21. Kozarewa, I., D.J. Cantliffe, R.T. Nagata, and P.J. Stofella. 2006. High maturation temperature of lettuce seeds during development increased ethylene production and germination at elevated temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131:564-570.
22. Lin, C. 2002. Blue light receptors and signal transduction. *Plant Cell* 2002:207-225. (Suppl.).
23. Macisaac, S.A., V.K. Sawhney, and Y. Pohorecky. 1996. Protein change associated with auxin-induced inhibition of lateral root initiation in lettuce (*Lactuca sativa*) roots. *J. Exp. Bot.* 41(8):1039-1044.
24. Robertson, J., J.R. Hilman, and A.M.M. Berrie. 1976. The involvement of indole acetic acid in the thermodynamic dormancy of lettuce fruits, *Lactuca sativa* cv. Grand Rapids. *Planta* 131(3):309-313.
25. Roth-Bejerano, N., N.J.A. Sedee, R.M. Meulen, and M. Wang. 1999. The role of abscisic acid in germination of light-sensitive and light-insensitive lettuce seeds. *Seed Sci. Res.* 9:129-134.
26. Speer, H.L. 1974. Some aspects of the function of the endosperm during the germination of lettuce seeds. *Can. J. Bot.* 52:1117-1121.
27. Suzuki, Y., Y. Soejima, and T. Matsui. 1980. Influence of after-ripening on phytochrome control of seed germination in two varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Plant Physiol.* 66(6):1200-1201.
28. Takeba, G. 1983. Rapid decrease in the glutamine synthetase activity during imbibition of thermodynamic New York lettuce seeds. *Plant Cell Physiol.* 24(8): 1469-1476.