

ORIGINAL ARTICLE

이상 저온 조건에서 Spermine 처리가 딸기의 생육과 수량 및 품질에 미치는 영향

이규빈 · 이정은 · 최윤의 · 박영훈 · 최영환 · 강남준¹⁾ · 강점순*

부산대학교 원예생명과학과, ¹⁾경상대학교 원예학과

Effect of Spermine Treatment on Growth, Yield, and Quality of Strawberry under Low-Temperature Condition

Gyu-Bin Lee, Jung-Eun Lee, Yun-Ui Choe, Young-Hoon Park, Young-Whan Choi, Nam-Jun Kang¹⁾, Jum-Soon Kang*

Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

¹⁾ *Department of Horticulture, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea*

Abstract

The present study was carried out to investigate the effects of spermine treatment on the growth, yield and quality in strawberry under low-temperature condition, and thereby develop a chemical method to minimize damages by low temperature in greenhouse cultivation. Spermine treatment significantly improved the growth of strawberry in terms of leaf number, leaf area, leaf length, leaf diameter, plant height and plant weight. The highest effect was observed in the 250 μ M spermine treatment and the effect tended to be maintained during the entire growth period of 90 days. Fresh weight and dry weight were significantly different depending on the concentrations of spermine. Strawberry plants treated with 250 μ M spermine showed higher fresh weight and dry weight compared to untreated control plants during the growth period. Fruit weight, fruit length and fruit diameter were relatively higher when treated with 100 μ M spermine compared to other treatments. The fruit yield was the highest with 14 fruits per plant at 250 μ M spermine treatment and the coloration of the fruit was the best at this treatment with the Hunter a and b values of 46.56 and 28.75, respectively. The hardness of strawberry fruit tended to increase higher than 2N at 250 μ M and 500 μ M 250 μ M spermine treatment. The sugar content of strawberries treated with 250 μ M spermine was 9.5 °Bx which was 1.6 °Bx higher compared to that in untreated control. However, spermine treatment did not affect the acidity of fruit and it remained 0.68-0.76% regardless of treatment concentrations. These results suggest that spermine treatment has a positive effect on the growth and productivity of strawberry fruit under abnormal low-temperature condition. The positive effect was the highest at 250 μ M spermine treatment and gradually decreased in the order of 100 μ M, 500 μ M, and untreated control.

Key words : Fruit quality, Low temperature, Polyamine, Spermine, Strawberry

Received 16 January, 2018; Revised 8 February, 2018;

Accepted 25 February, 2018

*Corresponding author: Jum-Soon Kang, Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 50463, Korea
Phone: +82-55-350-5523
E-mail : kangjs@pusan.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

딸기(*Fragaria ananassa* Duch.)는 봄철에 생식으로 많이 섭취하는 대표적인 원예작물로서(Choi et al., 2013) 고유의 맛과 향기 그리고 비타민 C를 비롯한 항산화 활성이 있는 페놀성 화합물 함량이 풍부한 과채류이다(Zhang et al., 2008). 딸기는 지난 10여 년간 우수한 국산 딸기품종의 개발, 재배기술의 비약적인 발전 및 작형의 변화로 딸기 산업은 급속하게 확장되었고 생산액은 12,843억원에 이르고 있다(MAFRA, 2016). 또한 현재 시설 딸기는 축성재배 작형의 증가로 겨울 과실로 인식될 정도로 겨울철 딸기 출하량이 증가되고 있다(Kim et al., 2013).

최근 기후변화의 영향으로 시설 딸기재배는 불량 조건에 노출되는 경우가 많아지고 있다(Lee et al., 2017a). 특히, 시설재배에서 겨울철 이상저온 현상은 딸기의 생육부진, 착과불량, 수량감소, 품질하락 및 난방비의 과다지출 등 부정적 요인으로 작용한다(Lee et al., 2017b). 딸기의 생육적온은 주간 17~20℃, 야간 10℃ 내외이며, 개화기의 꽃이나 꽃봉오리가 온도 변화에 민감하다. 5℃ 이하의 온도에서 장기간 노출되면 꽃받침 부분이 검게 변하는 냉해를 받고, 35℃ 이상의 고온에서는 화분발아가 불량하여 기형과 또는 불수정과의 원인이 된다(Jung, 2012). 재배기의 이상저온으로 인해 딸기의 품질이 저하될 경우, 가격 하락이 발생할 우려가 높다. 이는 곧 딸기 산업 전반에 부정적인 영향이 크므로 이상저온에 대응하여 안정적으로 딸기를 재배할 수 있는 기술개발이 절실하게 요구된다(Kim et al., 2013).

Polyamine (PA)은 식물, 동물 및 미생물에 존재하며, 식물에서는 생장, 발생, 분화에 관여하고 노화를 억제시키는 등(Pistocchi et al., 1988) 생리적으로 다양한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Smith, 1985; Evans and Malmberg, 1989). Polyamine의 종류로는 putrescine, cadaverine, spermidine, spermine등이 있다(Cho and Cho, 1989).

Polyamine은 저온 저항력을 가진 식물에서 발견되었고(Saradhi, 1991), 식물이 스트레스에 대응하기 위해 합성되는 물질이기도 한다(Galston, 1989). 따라서 식물체에 Polyamine을 처리하면 저온과 염분 스트레

스에 대한 저항력을 증가시킨다(Allaway, 1968). 식물이 저온 스트레스를 받으면 세포내에 proline을 축적시켜 세포내에 갑작스러운 수분고갈을 막아 스트레스에 대응하게 되는데 polyamine은 대응력을 촉진하는 물질로 알려져 있다(Park et al., 1996; Cho, 1999).

이와 같이 polyamine 처리는 상추(Oh et al., 1994), 카네이션(Son and Chae, 1993), 나팔꽃(Kwon et al., 1994), 애기장대(Yamaguchi et al., 2007), 피스타치오(Baninasab and Rahemi, 2008), 토마토(Cheng et al., 2009), 애호박(Kramer and Wang, 1989), 무(Cho, 1999), 배(Choi, 2004) 및 복숭아(Cheon et al., 2006) 등에서는 유용효과가 보고된 바 있다.

본 연구는 겨울철 시설 딸기재배에서 저온현상으로 인한 작물의 생육부진과 생산량 감소 피해를 최소화하기 위한 화학적 대응방안을 모색하고자 하였다. 이를 위해 저온 저항성을 향상시킨다고 알려져 있는 polyamine류 중에서 spermine을 정엽에 처리하여 딸기의 생육과 수량, 품질에 미치는 효과를 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료 및 재배조건

2.1.1. 공시품종 및 실험장소

본 시험에 사용된 딸기(*Fragaria ananassa* Duch.) 품종은 ‘설향’이었다. 시험은 2015년 5월부터 2016년 5월까지 부산대학교 온실(경남 밀양시 삼랑진읍 청학리 산50번지)의 고설벤치 베드에서 실험을 수행하였다. 불량환경에 대응하여 딸기의 생육반응을 검증하고자 생육적온보다 5℃ 낮은 15℃로 온도환경을 설정하여 재배하였다.

2.2.2. 재배조건 및 Spermine 처리

딸기는 육묘하여 본엽이 4장 전개된 유묘를 상토(Chambujs, Farmhannong, Korea)가 충진된 포트에 정식하였다. 시험구는 난괴법 3반복이었으며, 처리구 당 6개의 포트를 배치하고 포트(길이 60 cm × 길이 25 cm × 높이 30 cm)당 3주의 식물체를 정식하였다. 이상저온에 대응하여 딸기의 안정생장 기술을 개발하기 위해 식물 스트레스 경감에 효과적이라고 알려져 있는 Polyamine류인 Spermine를 100 μM, 250 μM, 500

μM 농도로 조성하였다. 정식 후 30일째부터 일주일 간격으로 걸쳐 경엽과 수관 전체에 엽면살포 처리하여 저온경감 효과를 조사하였다. 재배기간 중 양액은 400배로 희석한 물푸레 1호 과채류용(Dae-yu, Korea)를 사용하였고, 자동 타이머를 이용하여 하루에 각 2분씩 5회 걸쳐 점적튜브를 통해 총 400 mL의 양액을 공급하였다. 공급되는 양액의 pH는 6.7 이었으며, EC는 1.5 dS.m⁻¹ 였다.

2.2. 조사방법

2.2.1. 생육조사

생육조사는 포트에 딸기를 정식 한 후 30일, 60일 및 90일째에 실시하였다. 조사방법은 반복 당 3주의 식물체를 대상으로 엽수, 엽면적, 엽장, 엽폭, 초장, 근장, 생체중 및 건물중을 조사하였다. 엽면적 측정에는 엽면적 측정기(LI-3100, LI Cor., USA)를 이용하였고, 엽수는 잎의 길이가 1 cm 이상인 것을 조사하였다. 생체중은 생체 무게를, 건물중은 105℃에서 3시간 건조 후 측정하였다. 근장은 뿌리를 물로 완전히 씻어 흙을 제거한 후 뿌리의 가장 긴 부분을 측정하였다.

2.2.2. 생산성조사

딸기의 생산성 조사는 포트에 딸기를 정식 한 후 1화방에서 5화방이 출현할 때까지 수확된 수량을 합산하였다. 딸기 수확은 과실크기가 5g 이상이고, 속도가 균일한 것을 대상으로 하였다. 수확한 딸기는 수량, 과중, 과장, 과경을 조사하였다. 과중은 실험용 전자저울 (AX2202KR/E, OHAUS Cor., USA)을 이용하여 측정하였으며, 과장, 과경은 vernier calipers (CD-15CP, Mitutoyo Cor., JAPAN)을 사용하여 측정하였다. 또한 딸기의 품질에 관련된 색도, 경도, 산도, 당도, 당산비를 조사하였는데, 색도는 색차계(CM-3500d, Minolta, Japan)를 사용하여 Hunter L, a, b 값을 측정된 뒤 평균값으로 나타내었다. L value는 0(black), +100(white), a value는 +a(redness), -a(greenness), b value는 +b(yellowness), -b(blueness)으로 수치화 하였다. 경도는 물성분석기(TA-XT2, Stable micro systems, U.K.)에 5 mm probe를 장착하여 과실의 동일한 부위에 7 mm 깊이로 측정하였다. 당도(PR-201a, Atago, Japan)는 경도를 측정한 과실의 앞쪽을 5 mm 가량을 잘라낸 후 착즙하여 측정하였다. 산도는 Titratable

acidity 법으로 그리고 당산비를 조사하였다.

2.3. 통계분석

실험 결과의 통계분석은 최소유의차(Least Significant Difference)검정을 하였고, 이를 위해 SAS 프로그램 (Statistical Analysis System, Inc., Version 9.4, NC, USA)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

겨울철 시설딸기 재배에서 저온현상은 작물의 생육부진과 이로 인해 병해 발생을 초래하여 생산량 감소 및 고품질 딸기 생산의 제약 요인이 되고 있다(Kim et al., 2013). 따라서 노화를 억제하며, 세포의 수분 결핍을 최소화시켜 저온에 저항력을 지닌 polyamine류인 spermine(Allaway, 1968)를 저온(15℃)조건에서 재배한 딸기의 경엽에 처리하여 시기별 생육을 조사한 결과는 Table 1~2 및 Fig. 1과 같다.

Spermine 처리는 무처리에 비해 엽수, 엽면적, 엽장, 엽직경, 초장 등 전반적인 생육이 향상되었다. 이는 spermine이 식물조직의 세포분열을 활성화 시키며 세포팽창을 유도한 것으로 해석된다(Ponappa and Miller, 1996). 특히 이러한 경향은 250 μM 처리에서 현저하였다. 이는 피스타치오 식물체에서 polyamine류인 putrescine, spermidine, spermine를 처리하면 엽면적이 향상되었으며 그 효과는 Spermine 0.1 mM의 처리에서 가장 좋았다는 선행연구와 유사한 결과였다(Baninasab and Rahemi, 2008). 본 실험에서는 90일간 재배된 딸기 엽면적의 경우 무처리에서는 747.72 cm²에 불과하였으나 Spermine 250 uM 처리에서 844.85 cm²로 증가하였다. 초장에서도 250 uM 처리가 29.57 cm로 무처리의 21.53 cm에 비해 8 cm 증가하였다. Spermine 농도에 따라 생체중과 건물중에도 큰 차이를 보였는데, 250 μM 처리구는 무처리구에 비해 전 생육기에 걸쳐 생체중과 건물중이 높았다. 이와 같이 딸기 식물체의 생육은 spermine 처리에 의해 향상되었다.

최근 전 세계적으로 확산되고 있는 불량환경은 우리나라 주요 시설채소인 딸기에서도 큰 피해가 예상된다(Jung, 2012). 저온 스트레스를 대응하여 식물의 방어 기작에 중요한 역할을 하는 polyamine류의 Spermine을

Table 1. The effect of spermine treatment on leaf number, leaf area, leaf length, leaf diameter, plant height and root height of 'Sealhyang' strawberry plants at different growth stage at 15°C

Spermine (μM)	Leaf number	Leaf length (mm)	Leaf diameter (mm)	Leaf area (cm ²)	Plant height (cm)	Root height (cm)
30 days after transplanting						
100	6.67	8.35	7.40	392.47	23.27	22.98
250	10.00	9.73	8.93	435.97	27.87	26.27
500	8.67	7.33	7.40	382.47	21.33	23.80
Untreated	6.67	7.60	6.33	368.74	19.93	21.70
LSD	NS	0.51	1.60	29.21	NS	NS
60 days after transplanting						
100	7.67	8.67	7.50	666.95	24.43	26.87
250	10.33	9.73	9.00	683.67	28.47	29.20
500	9.00	8.20	7.43	645.90	22.67	27.23
Untreated	6.67	7.77	7.00	615.77	20.53	26.83
LSD	NS	NS	1.17	21.43	NS	NS
90 days after transplanting						
100	14.33	9.10	7.67	638.34	24.50	25.60
250	14.67	9.83	9.10	844.85	29.57	28.87
500	13.33	8.97	8.23	747.39	25.97	29.03
Untreated	14.67	8.97	8.03	747.72	21.53	21.53
LSD ²⁾	NS	NS	NS	NS	4.23	NS

²⁾ Means in columns within each growth day are separated by Least significant difference(LSD) at P = 0.05.

Table 2. The effect of spermine treatment on fresh weight and dry weight of strawberry plants at different growth stage at 15°C

Spermine (μM)	Fresh weight (g/plant)			Dry weight (g/plant)		
	Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total
30 days after transplanting						
100	16.73	5.67	22.40	2.93	0.67	3.60
250	18.87	6.47	25.33	3.43	0.88	4.31
500	16.67	5.23	21.90	2.93	0.66	3.59
Untreated	13.73	5.37	19.10	2.67	0.60	3.27
LSD	2.48	0.47	2.36	0.47	0.17	0.38
60 days after transplanting						
100	24.67	8.07	32.74	4.83	0.83	5.67
250	27.02	8.93	35.95	5.20	1.17	6.37
500	25.79	8.53	34.33	4.73	0.83	5.57
Untreated	25.02	7.80	32.82	4.60	0.70	5.30
LSD	1.42	0.72	1.88	0.27	NS	0.61
90 days after transplanting						
100	33.94	14.53	48.47	4.87	2.53	7.40
250	47.70	23.38	71.08	11.61	6.88	18.49
500	37.19	12.78	49.97	5.00	3.37	8.37
Untreated	43.07	18.93	62.10	6.41	3.63	10.04
LSD ²⁾	NS	NS	NS	NS	NS	NS

²⁾ Means in columns within each growth day are separated by Least significant difference(LSD) at P = 0.05.

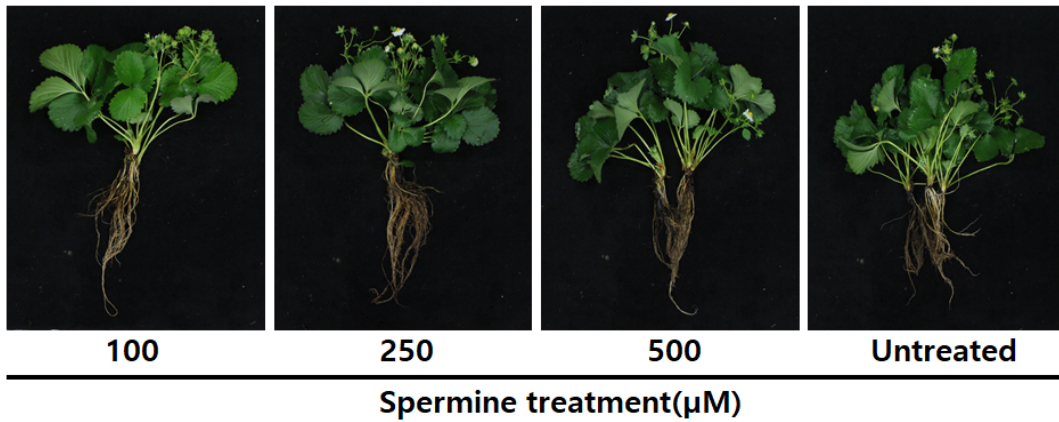


Fig. 1. Changes in growth as affected by spermine treatment of strawberry plants at 90 days after transplanting.

농도별로 딸기의 경엽에 처리해 저온 조건(15°C)에서 재배 후 딸기의 생산량과 품질을 조사하였다(Table 3~4 및 Fig. 2).

딸기의 생산성은 spermine 100 μM 처리를 하였을 때 딸기의 과중, 과장, 과경이 다른 처리농도 보다 높았다. 즉, 100 μM 처리에서 수확한 딸기 과실의 크기가 가장 컸다. Kwon et al.(1994)은 나팔꽃에 polyamine을 처리하면 주당 개화수와 개화율이 증가한다고 하였다. 또한 Kim et al.(2013)은 putrescine과 spermine을 고추 화분발아 배지에 첨가하면 화분 발아성이 증진되었으며 그 효과는 spermine이 좋았다고 하였다. 따라서 본 실험의 결과와 선행연구를 고찰하면 spermine는 불량환경에서 화분발아, 개화 및 착과를 촉진시키고 이로 인해 생산성도 향상되는 것으로 판단된다.

딸기의 수확량은 spermine 250 μM 처리에서 주당 14개로 수확량이 가장 많았다. 또한 과실의 Hunter a 값과 b값은 각각 46.56, 28.75였다. 이는 값이 적색을 나타내는 a값이 높고, 녹색을 띠는 b값이 낮아 전체적으로 짙은 빨간색으로 딸기가 착색되었다는 것을 확인할 수 있었다.

딸기 과실의 경도는 spermine 처리에 의해 경도가 증가하였다. 특히 250 μM와 500 μM 처리에서 2N 이상으로 경도가 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 polyamine을 배 과실에 처리하였을 때 과육의 연화가 지연되었다는 보고와 일치하였다(Choi, 2004).

딸기 과실의 당도는 spermine 250 μM 처리에서 9.2 °Brix로 무처리에 비해 1.6 °Brix 정도 당도가 향상되었다. 반면 과실의 산도는 처리농도에 관계없이 0.68-0.76%로 큰 차이는 없었다.

Table 3. The effect of spermine treatment on on number of fruits, fruits weigh, fruit length, fruit diameter of 'Seolhyang' strawberry

Spermine (μM)	No. of fruits /plant	Fruit weight (g/plant)	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)
100	10.8	7.29	27.24	24.38
250	14.0	6.39	26.96	22.86
500	12.3	6.27	25.34	23.20
Untreated	12.0	5.96	23.76	22.82
LSD ²⁾	NS	NS	2.51	NS

²⁾ Means in columns are separated by Least significant difference(LSD) at P = 0.05.

Table 4. Effect of spermine treatment on hunter value, firmness, sugar content and acidity of fruit in strawberry

Spermine (μM)	Hunter			Firmness (N)	Soluble solid content ($^{\circ}\text{Brix}$)	Titratable acidity (Acetic acid %)	SSC/TA ratio
	L	a	b				
100	40.43	46.38	26.95	1.731	8.6	0.71	12.11
250	42.21	46.56	28.75	2.178	9.2	0.75	12.27
500	43.99	44.03	30.71	2.311	8.6	0.76	11.32
Untreated	43.31	46.27	29.78	1.852	7.6	0.68	11.18
LSD ²⁾	1.79	2.83	0.44	1.300	NS	0.16	0.06

²⁾ Means in columns are separated by Least significant difference(LSD) at P = 0.05.

**Fig. 2.** Changes in the external appearance quality of fruit as affected by spermine treatment of strawberry.

딸기의 맛을 나타내는 주요 요인인 당산비는 당도가 가장 높았던 250 μM 처리에서 12.27로 가장 높게 나타났다. 또한 딸기에 spermine 처리를 하였을 때 과실의 모양은 원추형으로 형성되었으며 표면이 윤기가 있고 붉은색이 꼭지 부위까지 고르게 퍼져 있었다. 이는 생장조절제에 처리에 의해 흔히 발생하는 기형과나 변형과의 발생하지 않는다는 것을 의미한다. 따라서 spermine의 처리가 딸기의 상품성에 부정적 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다(Fig. 2).

이상저온 조건에서 대조구에 비해 spermine 처리는 딸기 생육 및 생산성을 향상시켰다. 그 효과 정도는 spermine 250 μM > 100 μM > 500 μM > 무처리 순이었다. 딸기의 과실크기는 spermine 100 μM 처리에서 가장 컸으나, 전반적인 딸기의 생육 및 품질 향상에는 250 μM 처리가 효과적이었다. 반면 500 μM 처리는 딸기의 생산성을 크게 향상시키지 못했다. 이는 spermine의 고농도 처리는 오히려 딸기 품질을 저하시킨다는 선행의 연구결과(Ponappa and Miller, 1996)와 유사한 경향이었다.

Cheon et al.(2006)도 저온조건에서 복숭아 화분발아율 증진을 위해 spermine을 첨가했을때 500 μM 이상의 농도에서는 오히려 화분발아가 저해되었다고 하여 처리 효율 극대화를 위한 처리농도 설정이 중요하다고 하였다.

이상의 결과로 농도별 spermine 처리는 이상저온 조건에서 딸기의 생육 및 생산성이 향상되었다. 따라서 딸기의 겨울철 시설재배에서 저온장해를 경감시킬 수 있는 화학제로 spermine 사용이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 시설 딸기재배에서 겨울철 이상저온 피해를 최소화하기 위한 화학적 대응방안으로 식물생장 조절 물질인 polyamine류의 spermine을 경엽에 사용하여 딸기의 생육과 수량 및 품질에 미치는 영향을 검정하고자 수행하였다.

Spermine 처리는 무처리에 비해 엽수, 엽면적, 엽장, 엽직경, 초장 등 전반적인 생육을 증진시켰다. 이러한 경향은 250 μM 처리에서 현저하였고, 90 일 간의

전 생육기간 동안 유지되었다. Spermine 농도에 따라 생체중과 건물중에도 큰 차이를 보였는데, 250 μM 처리를 한 딸기 식물체는 전 생육기간 동안 무처리구에 비해 생체중과 건물중이 높았다.

딸기 과실의 크기는 spermine 100 μM 처리를 하였을 때 과중, 과장, 과경이 다른 처리에 비해 높았다. 딸기의 수확량은 spermine 250 μM 처리에서 주당 14개로 수확량이 가장 많았다. 또한 과실 착색정도도 spermine 250 μM 처리에서 가장 좋았다. 딸기 과실의 경도는 spermine 처리에 의해 향상되었으나, 그 효과는 250 μM와 500 μM 처리에서 좋았다.

딸기 과실의 당도는 spermine 250 μM 처리에서 9.5 °Brix로 높았는데, 이는 무처리에 비해 1.6 °Brix 높은 결과였다. 반면 과실의 산도는 처리농도에 관계없이 0.68-0.76%로 큰 차이는 없었다.

이상의 결과로 spermine 처리는 이상저온 조건에서 딸기의 생육 및 생산성의 향상에 효과적이었다. 그 효과는 spermine 250 μM > 100 μM > 500 μM > 무처리 순이었다. 딸기의 영농현장에 적용되었을 때 저온장해를 경감시킬 수 있는 화학적 방법으로 spermine 사용이 산업적 가치가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 농생명산업기술개발사업(과제번호 : 315004-05-1-HD030)의 지원에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Allaway, W. H., 1968, Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements, *Adv. in Agron.*, 20, 235-274.
- Baninasab, B., Rahemi, M., 2008, Effect of exogenous polyamines on flower bud retention in pistachio (*Pistacia vera* L.) trees, *Hort. Environ. Biotechnol.*, 49, 149-154.
- Cheng, L., Zou, Y., Ding, S., Zhang, J., Yu, X., Cao, J., Lu, G., 2009, Polyamine accumulation in transgenic tomato enhances the tolerance to high temperature stress, *J. Intergrative Plant Biology*, 51, 489-499.

- Cheon, B. D., Choi, I. S., Kang, J. S., 2006, Effect of amino acid, polyamine, and flavonoid on the pollen germination of peach (*Prunus persica* SIEB.) under low temperature, *J. Life Sci.*, 16, 711-715.
- Cho, B. G., Cho, Y. D., 1989, A Study of polyamine biosynthetic enzymes and content of polyamine in ginseng, *Korean J. Ginseng Sci.*, 13, 19-23.
- Cho, B. H., 1999, Analysis of the change of amino acids by abscisic acid and polyamine treatment in radish young cotyledons, *Analytical Science Technology*, 12, 441-446.
- Choi, D. G., 2004, Changes of fruit characteristics and storage by gibberellin and polyamine treatment of oriental pear (*Pyrus Pyrifolia*), *J. Bio-Env. Con.*, 13, 185-193.
- Choi, H. G., Kang, N. J., Moon, B. Y., Kwon, J. K., Rho, I. R., Park, K. S., Lee, S. Y., 2013, Changes in fruit quality and antioxidant activity depending on ripening levels, storage temperature, and storage periods in strawberry cultivars, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 31, 194-202.
- Evans, P. T., Malmberg, R. L., 1989, Do polyamines have roles in plant development?, *Ann. Rev. Plant Mol. Biol.*, 40, 235-269.
- Galston, A. W., 1989, *The physiology of polyamine*, CRC Press. Boca Raton. FC. Vol II, 99.
- Jung, H. S., 2012, Characteristics of strawberries and seedling raising-method, *Agricultural and Horticulture*, 44-51.
- Kim, D. Y., Chae, W. B., Kwak, J. H., Park, S., Cheong, S. R., Choi, J. M., Yoon, M. K., 2013, Effect of timing of nutrient starvation during transplant production on the growth of runner plants and yield of strawberry 'Seolhyang', *J. Bio-Env. Con.*, 22, 421-426.
- Kramer, G. F., Wang, C. Y., 1989, Correlation of reduced chilling injury with increased spermine and spermidine levels in zucchini squash, *Physiologia Plantarum*, 76, 479-484.
- Kwon, H. J., Son, K. C., Gu, E. G., 1994, Influence of auxin, ethylene, and polyamines on the flowering induction of morning glory (*Pharbitis nil* Choisy, cv, Violet), *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 35, 258-264.
- Lee, G. B., Choe, Y. U., Park, E. J., Park, Y. H., Choi, Y. W., Kang, N. J., Kang, J. S., 2017, Effect of removing corolla and calyx lobes on fruit shape and quality of strawberry, *J. Environ. Sci. International*, 26, 87-96.
- Lee, G. B., Choe, Y. U., Park, E. J., Wang, Z., Li, M., Li, K., Park, Y. H., Choi, Y. W., Kang, N. J., Kang, J. S., 2017, Influence of abnormally low temperatures on growth, yield, and biologically active compounds of strawberry, *J. Environ. Sci. International*, 26, 381-392.
- MAFRA(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2016, Key statistics for agriculture, forestry, livestock and agrifood industries, Sejong, Rep. Korea.
- Oh, C. S., Kim, J. C., Han, K. S., 1994, Effect of polyamines on senescence in *Lactuca sativa* L. II. Stabilization of leaf protoplasts, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 35, 318-322.
- Park, S. Y., Park, M. Y., Cho, B. H., 1996, Analysis of the transport system of cadmium and the change of proline content in spring radish young plant, *Analytical Science Technology*, 9, 134-138.
- Pistocchi, R., Keller, F., Bagni, N., Matile, P., 1988, Transport and subcellular localization of polyamines in carrot protoplasts and vacuoles, *Plant Physiol.*, 87, 514.
- Ponappa, T., Miller, A. R., 1996, Polyamines in normal and auxin-induced strawberry fruit development, *Physiol. Plant.*, 98, 447-454.
- Saradhi, P. P., 1991, Proline accumulation under heavy metal stress, *J. Plant Physiol.* 138, 554-558.
- Smith, T. A., 1985, Polyamines, *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 36, 117-143.
- Son, K. C., Chae, Y., 1993, Effect of polyamine treatment on the senescence of carnation petals, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 34, 75-80.
- Yamguchi, K., Takahashi, Y., Berberich, T., Imai, A., Takahashi, T., Michael, A. J., Kusano, T., 2007, A Protective role for the polyamine spermine against drought stress in *Arabidopsis*, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 352, 486-490.
- Zhang, Y., Seeram, N. P., Lee, R., Feng, L., Heber, D., 2008, Isolation and identification of strawberry phenolics with antioxidant and human cancer cell antiproliferative properties, *J. Agric. Food Chem.*, 56, 670-675.