

ORIGINAL ARTICLE

발아온도 및 Spermine, Putrescine이 딸기의 화분 발아에 미치는 영향

이정은 · 김현도 · 제병일 · 이용재 · 박영훈 · 최영환 · 손병구 · 강남준¹⁾ · 강점순*
부산대학교 원예생명과학과, ¹⁾경상대학교 원예학과

Effect of Germination Temperature, Spermine and Putrescine on Pollen Viability of Strawberry

Jung-Eun Lee, Hyeon-Do Kim, Byoung-II Je, Yong-Jae Lee, Young-Hoon Park,
Young-Whan Choi, Beung-Gu Son, 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

This study was conducted to determine the optimum conditions for the treatment of polyamine to promote pollen germination and improve the fruiting rate by overcoming fertilization defects in low-temperature strawberry cultivation. The optimum temperature for pollen germination of strawberries was 30°C for Seolhyang and 25°C for Maehyang, and Seolhyang had a higher pollen germination rate than that of Maehyang. The addition of polyamines, namely spermine and putrescine to the medium improved the pollen germination rate and spermine treatment showed a better effect than putrescine treatment. The proper polyamine type and treatment concentration for enhancing the potency of pollen germination was 500 μM of spermine for both Seolhyang and Maehyang, which improved the pollen germination rate by 19-23% compared with that of the control. However, combined treatment of spermine and putrescine, resulted in a lower germination rate lower than that of the single treatment. Our results indicated that the treatment of polyamines during flowering in protected cultivation of strawberry can improve the fruiting rate by overcoming the problem of poor pollen germination due to low temperature.

Key words : Maehyang, Pollen germination, Seolhyang

1. 서론

최근 들어 화석연료의 사용량 증가로 인한 기후변화는 작물재배에 부정적인 영향을 끼치며(Lee, 2019), 곤충의 감소로 수정장해가 심화되어 과채류의 결실이 불안

정한 사례가 점차 늘어나고 있다(Lee, 2003). 특히 겨울철 시설딸기 재배에서 저온과 일조부족 등의 불량환경은 화분활력이 저하되고 수분 매개체의 활동둔화로 착과가 불안정해지는 원인이 된다(Kim et al., 2013).

딸기는 수술과 암술이 모두 있는 완전화로 5개의 꽃받침,

Received 27 March, 2020; Revised 9 April, 2020;
Accepted 10 April, 2020

*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.

부꽃받침과 꽃잎으로 구성되어 있다. 수술은 20-25개 정도로 각 수술대 마다 2개의 약통이 있으며 그 속에 화분이 들어있다. 딸기는 자기수분이 가능하지만 수술이 없거나 퇴화하는 현상이 심해져 재배현장에서는 매개곤충인 벌을 이용하여 타가수분을 시킨다.

과채류인 딸기에서 수정과 안전한 착과를 위해서는 화분 활력이 높아야 한다. 화분 활력에 관여하는 주요한 외적 요인은 온도와 상대습도이며(Pacini et al., 1997; Ledesma and Sugiyama, 2005), 저온건조 조건에서는 화분활력이 오랫동안 유지되지만 고온과습 조건에서는 퇴화가 빨라진다(Ogawa, 1961). 딸기 화분 발아에 가장 좋은 온도조건은 25-30℃ 이지만 겨울철 시설 딸기에서는 주간 평균온도가 20℃ 내외로 화분발아 적온보다는 낮게 관리되고 있는 실정이다(Nam et al., 2013).

화분발아의 촉진물질로는 sucrose, 무기염류, 호르몬, 아미노산 및 폴리아민 등으로 알려져 있다(Cheon et al., 2006b). 화분 발아과정에서 당은 생장에 필수적인 에너지 공급원이며, 화분 세포조직이 팽창에 대응하여 팽압을 유지시켜 줌으로써 화분과 화분관이 파열되는 것을 방지하는 역할을 한다(Yu et al., 1996).

불량환경 조건에서 원예작물의 화분 활력증진, 화분 수명 연장 및 화분발아 생리에 많은 연구가 수행되었다. 특히 복숭아(Cheon et al., 2006a,b)를 비롯한 과수작물 중심의 화분활력 증진에 관한 연구가 수행된 바 있으나 딸기를 대상으로 저온에서 화분 발아력을 증진시켜 착과율을 향상시킨 연구는 없었다.

본 연구는 화분발아를 촉진할 수 있는 폴리아민을 화분발아 배지에 첨가하여 화분발아력 증진 효과를 탐색하여 겨울철 저온기의 딸기재배에서 문제점으로 지적되고 있는 수정 불량문제를 극복할 수 있는 기초 자료를 얻기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시품종 및 온도별 화분 발아율

본 실험에 사용된 딸기 품종은 ‘설향’과 ‘매향’이었다. 딸기 화분은 주간온도 20℃, 야간온도 13℃로 환경제어된 부산대학교 유리온실에서 고설재배한 딸기의 화분을 이용하였다. 화분 채취는 오전 9시에 건전한 식물체에서 활짝 개화한 꽃을 채취한 후 페트리디쉬(9 cm)에 유산지

를 깔고 그 위에 약을 이탈시켜 실험에 사용하였다.

온도에 따른 딸기의 화분 발아율을 알아보기 위해 15℃, 20℃, 25℃, 30℃의 항온기에서 화분 발아력을 검정하였다. 화분 발아율 조사는 화분을 치상한 후 3, 6, 9, 12, 24시간별로 실시하였다. 화분발아 배지로 1% agar - BK(Brewbaker and Kwack, 1963) 배지를 사용하였다. 배지의 유기물 구성은 sucrose 10%, boric acid 100 mg/L, calcium nitrate 300 mg/L, magnesium sulfate 200 mg/L, potassium nitrate 100 mg/L 였으며, pH는 5.5로 조절하였다. 이와 같이 유기물을 용해시킨 후 1% agar를 넣어 고압증기멸균기(AC-12, Jeio tech, Korea)를 이용해 120℃에서 15분간 소독해주었다. 그런 다음 BK 배지를 페트리디쉬(3.5 cm)에 분주하고 상온에서 4시간 동안 배지를 응고시킨 후 화분발아 실험을 진행하였다.

2.2. 화분 발아율 화분관 신장율 검정

화분 발아율 검정은 광학현미경(E100, Nikon, Japan) 하에서 150배 배율로 하나의 페트리디쉬 중에 임의로 5개 부분을 선정하여 디지털로 이미지를 관찰하였다. 화분 발아 판정은 화분관의 길이가 화분 직경보다 클 경우 발아한 것으로 간주하였으며 화분관 신장은 저장된 이미지를 이미지분석기(IMT iSolution Lite., version 9.1, BC, USA)를 이용해 측정하였다. 화분의 발아율과 화분관 신장은 화분을 치상한 후 24시간 까지 조사하였다.

2.3. Spermine과 putrescine이 화분 발아율에 미치는 영향

배지에 첨가된 폴리아민이 저온에서의 화분 발아율에 미치는 영향을 조사하기 위해 기본배지(1% agar - BK 배지)를 고압증기멸균기(AC-12, Jeio tech, Korea)를 이용해 120℃에서 15분간 소독한 후 배양액의 온도를 70-75℃까지 식혔다. 그 후 2종류의 폴리아민인 spermine과 putrescine을 각각 0 μM, 250 μM, 500 μM, 1000 μM의 농도별로 배지에 첨가하였다. 그런 다음 화분을 치상하여 20℃의 항온기에서 실험을 진행하였다. 화분 발아율 조사는 화분을 치상한 후 3, 6, 9, 12시간별로 실시하였다.

2.4. Spermine과 putrescine의 혼용이 화분 발아율에 미치는 영향

배지에 첨가된 혼용 폴리아민이 저온에서의 화분

발아율에 미치는 영향을 조사하기 위해 폴리아민인 최적 농도 설정 실험에서 그 효과가 가장 좋았던 spermine 500 μ M과 putrescine 250 μ M을 혼용하여 그 효과를 비교하였다. 그 외의 조건은 실험 2.3과 동일하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 온도별 화분 발아율

딸기 화분 발아실험을 위한 기초 자료를 얻고자 ‘설향’ 화분을 25°C에서 배양하면서 시간별 화분 발아율을 조사하였다(Fig. 1). 화분을 배지에 치상 후 30분부터 발아가 개시되어 9시간까지 대부분의 화분이 발아하였고, 이후 24시간 동안 화분 발아율의 증가는 없었다. 따라서 딸기의 화분발아 판정을 위한 조사시간은 화분을 배양한 후 12시간이 적합하였다. 화분의 발아완료 시점은 작물 및 발아온도에 따라 달라지며 개암은 20°C에서 12-24시간 (Bristow and Shawa, 1981)이 소요된다고 알려져 있다.

온도에 따른 ‘설향’과 ‘매향’의 화분발아율을 알아보기 위해 화분 발아온도를 15, 20, 25, 30°C로 달리하여 시간별 화분 발아율을 조사하였다(Fig. 2). ‘설향’의 최종 화분발아율은 15°C에서 38.6%, 20°C에서 46.9%, 25°C에서 48.3%, 30°C에서 60.8%로 발아온도가 높아질

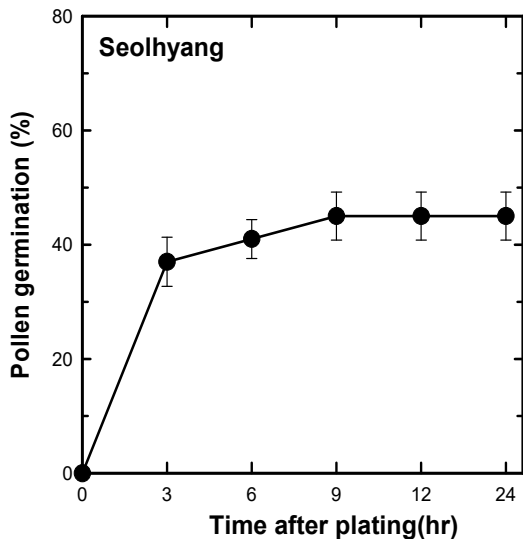


Fig. 1. Changes in pollen germination of 'Seolhyang' strawberry affected by incubation period at 25°C. Vertical bars are means \pm SE of five replicates.

수록 화분발아율이 향상되었다. 반면 매향은 15°C에서 46.9%, 20°C에서 50.2%, 25°C에서 51.3%로 증가하였으나 30°C에서 43.1%로 발아율이 감소하였다.

화분의 발아적온은 작물에 따라 차이가 있으며, 일반적으로 23°C 범위가 화분 발아적온으로 알려져 있다 (Sukhvibul et al., 2000). 본 실험에서는 딸기의 화분 발아적온은 품종에 따라 달랐으며 ‘설향’은 30°C, ‘매향’은 25°C가 좋았다. 따라서 ‘설향’에서는 착과율을 높이기 위해서는 ‘매향’ 보다 재배온도를 높게 관리해주는 것이 좋을 것으로 판단되었다. 반면 ‘매향’은 25°C에서 화분발아율이 가장 높았으나 30°C에서는 화분발아율이 감소하였다. 이러한 결과는 30°C의 고온에서는 딸기의 화분 발아율이 감소되었다고 한 Leech et al.(2002)의 보고와 일치하였다. 화분발아율은 전반적으로 ‘설향’이 ‘매향’보다 높았다.

실내에서의 화분발아율과 포장조건에서 결실율은 정 의 상관관 가지며, 실내 시험에서 화분 발아율이 높으면 포장조건에서 착과율이 향상된다(Polito and Luza, 1988). 이와 같이 실내에서 화분발아 결과들이 포장조건에서의 착과율 예측하기 위한 수단으로 활용될 수 있을 것이다.

본 실험에서 딸기 화분발아에 최적 조건은 품종간의 차이가 있으나 25-30°C 내외였다.

화분관 신장은 화분 발아율과 유사한 경향을 보였고, ‘설향’은 30°C에서 ‘매향’은 25°C에서 화분관 신장이 가장 높게 나타났다(Fig. 3). 이는 20-30°C에서 고추(Kim et al., 2013)의 화분관 신장이 가장 높았다는 선행 보고와 유사한 결과였다.

온도에 따른 화분관의 신장 속도는 ‘설향’의 경우 15°C에서는 21.7 μ m/hr 이지만 30°C에서는 51.3 μ m/hr로 화분발아 온도가 높아짐에 따라 화분관의 신장속도가 빨랐다. ‘매향’은 15°C에서는 화분관 신장속도가 10.0 μ m/hr 였으나 25°C에서는 41.7 μ m/hr로 화분관 신장속도가 가장 빨랐다. 그러나 30°C에서는 36.0 μ m/hr로 화분관 신장 속도가 약간 둔화되었다.

딸기의 수분 후 24시간 이내에 수정이 완료되며 (Ledesma and Sugiyama, 2005), 15°C의 저온에서는 30°C에 비해 화분관 신장속도가 절반 이하로 떨어졌다 (Fig. 3). 따라서 저온기의 시설딸기 재배에서 착과율을 저해하는 주요 원인은 저조한 화분발아율과 화분관 신장의

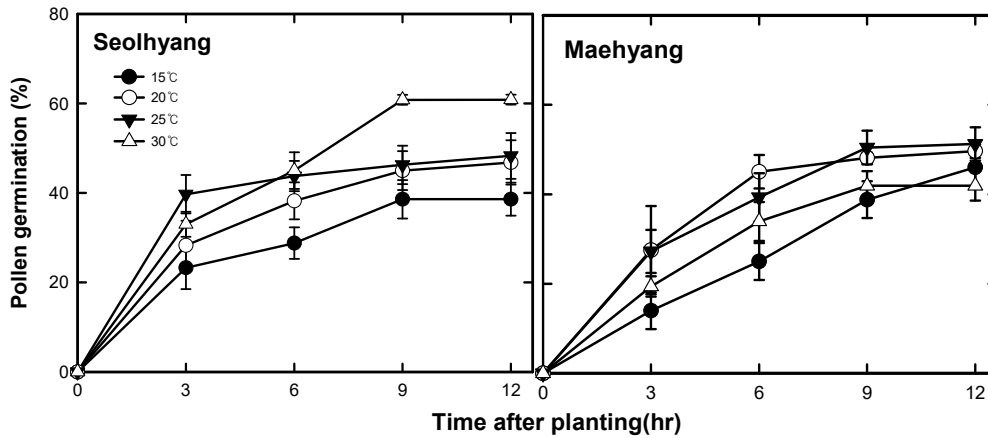


Fig. 2. Changes in pollen germination of 'Seolhyang' and 'Maehyang' affected by incubation period at 15, 20, 25 and 30°C. Vertical bars are means \pm SE of five replicates.

불량이 복합적으로 작용한 것으로 판단된다.

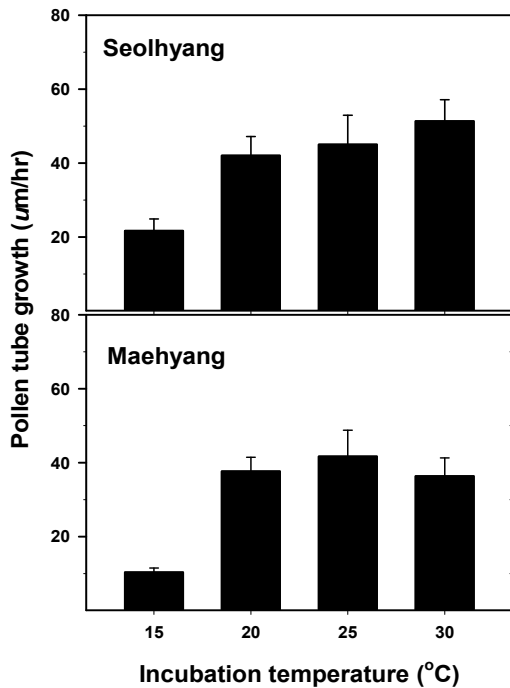


Fig. 3. Changes in pollen tube growth of 'Seolhyang' and 'Maehyang' strawberry at 15°C, 20°C, 25°C and 30°C. Vertical bars are means \pm SE of five replicates. Pollen tube growth were determined 24 hrs after bedding at various temperature.

딸기의 화분활력은 저온에 의해 영향을 크게 받지만 '매향'의 경우는 30°C 이상의 고온에서도 화분 발아율이 저하되고 화분관의 신장속도가 늦어졌다. 따라서 30°C 이상의 고온조건은 착과에 문제가 생길 것으로 예측된다.

3.2. 폴리아민 첨가에 의한 저온에서 화분 발아율 증진 효과

폴리아민류인 spermine과 putrescine을 화분발아 배지에 첨가하여 20°C의 저온조건에서 화분발아율 증진 효과를 조사하였다(Fig. 4).

'설향' 대조구의 화분 발아율은 21.6% 였다. 화분배지에 spermine 500 μ M 처리하였을 때 화분 발아율이 45.2%로 대조구보다 23.6% 높았다. 또한 spermine 250 μ M 처리는 37.3%의 화분 발아율을 보여 대조구에 비해 15.7%의 화분 발아율을 증진시켰다. 반면 spermine 1000 μ M 처리에서는 오히려 대조구보다 발아율이 감소되었다. Putrescine은 250 μ M 처리에서 34.9%의 화분 발아율을 보여 대조구에 비해 13.3% 높았으며, 500 μ M 처리에서는 대조구보다 화분 발아율이 7.1% 향상되었다. 그러나 putrescine 1000 μ M 처리에서 대조구보다 화분 발아율이 감소하였다.

'매향'은 spermine 500 μ M 처리하였을 때 화분 발아율이 40.1%로 대조구에 비해 18.9% 향상되었다. 또한 spermine 250 μ M 처리에서도 화분 발아율이 증진되는

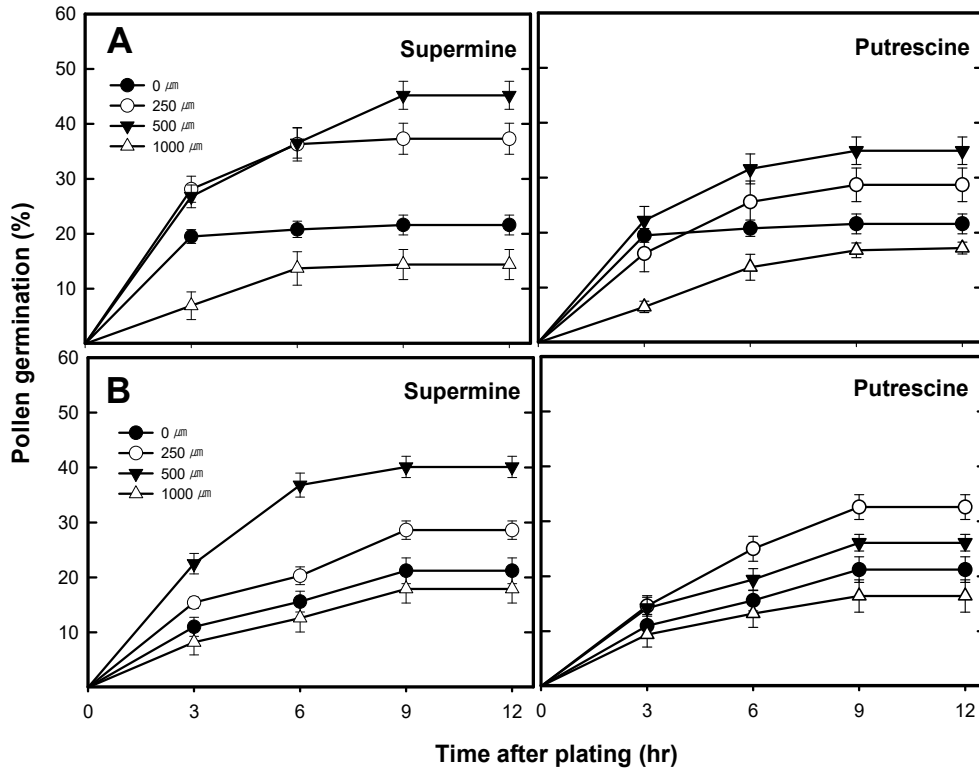


Fig. 4. Effect of spermine and putrescine in media on pollen germination ‘Seolhyang’(A) and ‘Machyang’(B) strawberry at 20°C. Vertical bars are means ± SE of five replicates.

경향이었으나 그 효과는 500 μM 처리보다는 현저하지 않았다. 반면 spermine 1000 μM 처리에서는 17.9%로 대조구보다 화분 발아율이 감소하였다. Putrescine은 250 μM 처리에서는 32.9%, 500 μM 처리에서도 26.1%의 화분 발아율을 보여 대조구에 비해 화분 발아율이 향상되었으나 Putrescine 1000 μM 처리에서는 대조구보다 오히려 화분발아율이 감소하였다.

폴리아민류 중에서 spermine이 putrescine 보다 화분 발아에 효과적 이었다. 처리수준도 화분 발아율을 증진시키는 중요한 요인이었으며, 전반적으로 500 μM 이하의 spermine과 putrescine을 처리하면 딸기의 화분 발아율을 증진시킬 수 있었다. 반면 1000 μM 의 고농도 처리에서는 화분 발아율이 감소하였다. 유사한 결과는 선행연구에서도 보고된 바 있으며, Cheon et al.(2006b)은 spermine을 처리하면 복숭아 화분 발아율 증진되었으나 1000 μM 이상의 농도에서는 오히려 화분 발아율이 감

소되었다고 하였다.

‘설향’과 ‘매향’ 딸기에서 화분발아를 극대화시킬 수 있는 최적 농도는 spermine 500 μM 처리였고, 다음은 spermine 250 μM 이었다. 반면 putrescine은 spermine에 비해 효과가 낮았으나 ‘설향’은 500 μM, ‘매향’은 250 μM 처리에서 화분발아를 촉진하는 경향이였다. 유사한 결과는 선행연구에서도 보고된바 있으며, Kim et al.(2013)은 고추 화분 발아배지에 spermine과 putrescine을 첨가했을 때 화분 발아율이 증진되었으며 그 효과는 spermine이 더 좋았다고 하였다.

3.3. Spermine과 putrescine 혼용효과

화분에는 아미노산과 무기염류 및 화분발아에 필요한 영양성분을 많이 함유하고 있다. 폴리아민류 가운데 딸기의 화분 발아에 가장 효과적 이었던 spermine 500 μM과 putrescine 250 μM를 혼용하여 20°C에서 화분 발아율을

조사한 결과는 Fig. 5와 같다.

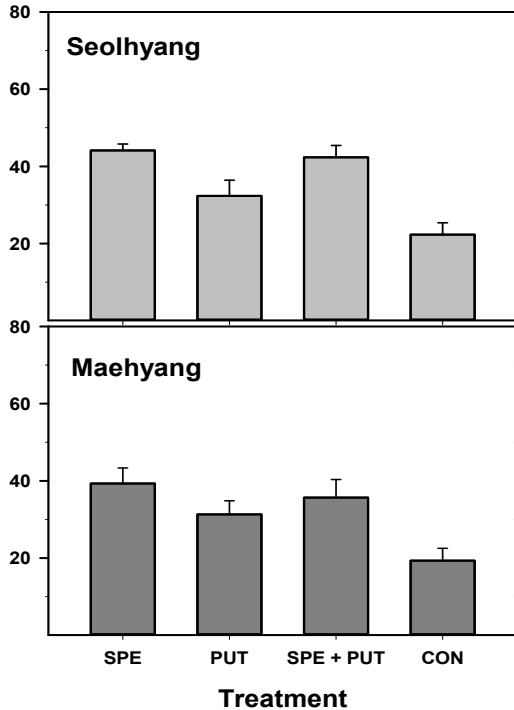


Fig. 5. Effect of Spermine and putrescine combination in media on pollen germination of 'Seolhyang' and 'Maehyang' strawberry 12 hrs plating at 20°C. Treatment were SPE; Spermine 500 μ M, PUT; Putrescine 250 μ M, SPE + PUT; Spermine 500 μ M + Putrescine 250 μ M, CON; control. Vertical bars are means \pm SE of five replicates.

'설향'과 '매향' 두 품종 모두 화분발아 배지에 spermine과 putrescine를 첨가하면 화분발아율이 대조구에 비해 10-21.8% 향상되었다. 그 효과는 폴리아민 화합물들은 세포 성장기에 왕성하게 합성되며, 노화를 억제하고 화분의 발육촉진 및 세포의 수분결핍을 최소화하는 작용을 때문으로 판단된다(Ylstra et al., 1992).

딸기의 화분발아에 효과적이 spermine 500 μ M + putrescine 250 μ M을 혼용처리 하면 딸기의 화분 발아율을 극대화 시킬 수 있을 것으로 예상되었으나 두 물질을 혼용하면 오히려 단독처리 한 것에 비해 효과가 크지 않았다. '설향'과 '매향' 두 품종에서 화분 발아율을 향상시킬 수 있는 최적 폴리아민류는 supermine 500 μ M 처

리였다.

과채류인 딸기에서 화분 발아율과 화분관 신장은 성공적인 수정을 위한 중요한 인자이며, 활력이 높으면 발아율도 높아진다. 겨울철 시설 딸기재배는 이상저온, 농약살포, 과습 등 불량환경 조건은 수분과 수정을 저해하는 외적 요인들이다. 따라서 딸기에서 화분 활력이 저하되면 비정상적인 수정으로 기형과 발생율이 증가하게 되고, 착과수가 감소하는 원인이 되고 있다.

겨울철 시설 딸기 재배에서는 저온 등으로 인해 수정장애와 기형과 발생이 문제가 되고 있는데 본 연구결과 화분발아 배지에 supermine를 처리하면 화분활력이 증진되었다. 이러한 결과는 저온기 딸기재배에서 supermine를 엽면처리하면 화분활력을 증진시켜 수정 불량문제를 극복하고 정상과 생산율을 향상시킬 수 있는 정보를 제공할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 화분발아를 촉진할 수 있는 폴리아민의 첨가물질 조건을 구명함으로써 저온기 딸기재배에서 수정 불량문제를 극복하여 착과율을 향상시킬 수 있는 방안을 강구하고자 수행되었다. 딸기의 화분 발아 적온은 '설향'의 30°C 였으며, '매향'의 25°C 였다. '설향'은 '매향'보다 화분 발아율이 우수하였다. 화분발아 배지에 폴리아민류인 spermine과 putrescine을 첨가하면 화분 발아율을 향상시켰다. 그 효과는 spermine이 putrescine 처리보다 좋았다. 딸기의 화분발아성을 증진시킬 수 있는 적정 폴리아민 종류 및 처리농도는 '설향'과 '매향' 모두 spermine 500 μ M 처리였고, 대조구에 비해 화분발아율이 19-23% 향상되었다. 딸기의 화분발아에 효과적이 spermine과 putrescine의 두 물질을 혼용하면 단독처리 한 것에 비해 오히려 화분 발아력이 효과가 낮았다. 이상의 결과로 시설 딸기 재배에서 개화기에 폴리아민 처리는 저온에 의한 저조한 화분 발아문제를 극복하여 착과율을 증진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

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

REFERENCE

- Brewbaker, J., Kwak, B., 1963, The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth, *Am. J. Bot.*, 50, 859-865.
- Bristow, P. R., Shawa, A. Y., 1981, The influence of fungicides on pollen germination and yield of cranberry, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 106, 290-292.
- Cheon, B. D., Choi, I. S., Kang, J. S., 2006a, Effect of sucrose, calcium and boron added in the medium on pollen germination of peach(*Prunus persica* SIEB), *J. Life Sci.*, 16, 561-565.
- Cheon, B. D., Choi, I. S., Kang, J. S., 2006b, Effect of amino acid, polyamine, and flavonoid on the pollen germination of peach(*Prunus persica* SIEB), *J. Life Sci.*, 16, 711-715.
- Kim, S. H., Heo, Y., Park, E. G., Son, B. G., Choi, Y. H., Lee, Y. J., Park, Y. H., Kang, J. S., Suh, J. M., Cho, J. H., Hong, C. O., Lee, S. G., 2013, The influence of temperature amino acid and polyamine on pollen germination of pepper, *J. Agric. & Life Sci.*, 47, 1-8.
- Ledesma, N., Sugiyama, N., 2005, Pollen quality and performance in strawberry plants exposed to high-temperature stress, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 130, 341-347.
- Lee, G. B., 2019, Effect of poor environmental conditions against climate change on growth, yield and quality of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), ph. D. Dissertation, Pusan National University, Busan, Korea.
- Lee, S. H., 2003, Studies for pollen and stigma viability in Asian pear(*Pyrus phyfolia*), ph. D. Dissertation, Chennam National University, Gwangju, Korea.
- Leech, L., Simpson, D. W., Whitehouse, A. B., 2002, Effect of temperature and relative humidity on pollen germination in four strawberry cultivars, *Acta Hort. (ISHS)*, 567, 261-263.
- Nam, M. H., Kim, S. H., Choi, H. J., Lee, H. D., 2013, Effects of Fungicides on Inhibition of in Vitro Strawberry Pollen Germination, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 31, 633-639.
- Ogawa, T., 1961, Studies on the seed production of onion. I. effects of rainfall and humidity on the fruit setting, *J. Soc. Hort. Sci.*, 30, 222-231.
- Pacini, E., Franchi, G. G., Lisci, M., Nepi, M., 1997, Pollen viability related to type of pollination in six angiosperm species, *Annals of Botany*, 80, 83-87.
- Polito, V. S., Luza, J. G., 1988, Longevity of pistachio pollen determined by in vitro germination, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 113, 214-217.
- Sukhvibul, N., Whiley, A. W., Vithanage, V., Smith, M. K., Doogan, V. J., Hetherington, S. E., 2000, Effect of temperature on pollen germination and pollen tube growth of four cultivars of mango(*Mangifera indica* L.), *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, 75, 64-68.
- Sukhvibul, N., Hetherington, S. E., Vithanage, V., Whiley, A. W., Smith, M. K., 2000, Effect of temperature on pollen germination, pollen tube growth and seed development in mango(*Mangifera indica* L.), *Acta Hort.*, 509, 609-616.
- Ylstra, B., Touraev, A., Bentito Moreno, R. M., Stoger, E., Van Tunen, A. J., Vicente, O., Mol, J. N. M., Heberle-Bors, E., 1992, Flavonols stimulate development, germination, and tube growth of tobacco pollen, *Plant Physiol*, 100, 902-907.
- Yu, S. M., Fang, Y. C., Chan, M. T., Hwa, S. F., Liu, L. F., 1996, Sugars act as signal molecules and osmotica to regulate the expression of α -amylase genes and metabolic activities in cereal grains, *Plant Mol. Biol.*, 30, 1277-1289.

-
- Master. Jung-Eun Lee
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University
wjddms3986@naver.com
 - Undergraduate student. Hyeon-Do Kim
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University
every921004@naver.com
 - Professor. Byoung-Il Je
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University
bije@pusan.ac.kr
 - Professor. Yong-Jae Lee
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University
yjl@pusan.ac.kr
 - Professor. Young-Hoon Park
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University
ypark@pusan.ac.kr
 - Professor. Young-Whan Choi
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University
ywchoi@pusan.ac.kr
 - Professor. Beung-Gu Son
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University
bgson@pusan.ac.kr
 - Professor. Nam-Jun Kang
Department of Horticulture, Gyeongsang National University
k284077@gnu.ac.kr
 - Professor. Jum-Soon Kang
Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University
kangjs@pusan.ac.kr