

## 딸기 삽목 육묘 시 묘 생육에 미치는 지베렐린 침지농도 및 시간의 영향

김은지<sup>1</sup> · 김치선<sup>2</sup> · 정현수<sup>1</sup> · 이준구<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>전라북도농업기술원 지방농업연구소, <sup>2</sup>전라북도농업기술원 지방농업연구관, <sup>3</sup>전북대학교 농업생명과학대학 원예학과 교수

## The Effect of Gibberellin Dipping Concentration and Treatment Time on the Growth of Cutting Propagules in Strawberry

Eun Ji Kim<sup>1</sup>, Chi Seon Kim<sup>2</sup>, Hyun Soo Jung<sup>1</sup>, and Jun Gu Lee<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Researcher, Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea

<sup>2</sup>Senior Researcher, Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea

<sup>3</sup>Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture & Life Sciences, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

**Abstract.** The aim of this research was to investigate the effect of gibberellin on improving seedling growth characteristics and enhancing strawberry quality in cutting propagation. Cuttings of the cultivar ‘Seolhyang’ were treated with GA<sub>3</sub> for 30 and 60 minutes at concentrations of 50, 100, and 150 mg·L<sup>-1</sup>, with distilled water used for dipping as the control. Evaluation of seedling growth showed a positive correlation between the duration of gibberellin dipping and growth characteristics such as leaf number and SPAD value. Plant height, petiole length, leaf length and width, and leaf area varied significantly based on the interaction between dipping time and concentration. Crown diameter exhibited differences depending on the dipping time, with cuttings producing superior seedlings having a diameter of 8.0 mm or more for all treatments except the 30-minute, 100 mg·L<sup>-1</sup> treatment. The T/R ratio was significantly lower in the 30-minute, 50 mg·L<sup>-1</sup> treatment, indicating the highest plant vigor. Quantum yield was lower at a concentration of 150 mg·L<sup>-1</sup>, showing a decreasing trend with increasing gibberellin concentration. Nonphotochemical quenching was significantly smaller in the 30-minute, 150 mg·L<sup>-1</sup> treatment, indicating an effective reduction of stress in the cuttings. Antioxidant content was highest in the 30-minute, 50 mg·L<sup>-1</sup> treatment and the 60-minute, 150 mg·L<sup>-1</sup> treatment. Moreover, the results of post-transplanting growth assessment showed no negative effect of gibberellin on flowering induction. Therefore, it was confirmed that gibberellin treatment during the cutting propagation of ‘Seolhyang’ strawberries had a positive effect on the production of high-quality seedlings. Dipping the cuttings in 50 mg·L<sup>-1</sup> gibberellin for 30 minutes is considered to be the most suitable method for improving growth and quality compared to the control.

**Additional key words:** cutting propagation, forcing culture, GA<sub>3</sub>, plant growth regulator, seedling quality

### 서 론

딸기(*Fragaria × ananassa* Duch.)는 국내에서 경제적으로 중요한 과채류 중 하나로서, 2021년 생산액이 14,757억 원에 달해 채소류 전체 생산액의 11.2%를 차지하고 있다(MAFRA, 2022). 딸기는 주로 영양번식 방법으로 증식되는데, 고품질 묘 생산은 전체 재배 성공의 80%를 좌우할 정도로 과실의 생산과 품질에 큰 영향을 미친다(Jun 등, 2014).

포트육묘 방식은 딸기 증식의 대부분을 차지하는 방법이지

만, 긴 육묘 기간 동안 묘소질이 불균일해지거나 좁은 재식밀도로 인해 묘가 도장할 수 있다(Kim 등, 2018). 반면 과실을 생산한 묘에서 이듬해 삽수를 채취하여 이용하는 삽목육묘 방식은 3개월 정도의 짧은 육묘 기간 동안 묘 생산이 가능하며 균일한 묘를 확보할 수 있다(Hwang 등, 2020; Kang 등, 2011). 하지만 이러한 장점에도 불구하고 삽목 후 초기 생존율을 높이고 뿌리를 활착시키기 위한 환경관리가 삽목 육묘 성공에 중요하게 작용한다(Kim 등, 2018). 이러한 원예작물 삽목번식 시 영향을 미치는 요인에는 삽목시기, 발근촉진물질, 관수방법 및 습도유지방법 등이 있다(Kang 등, 2019; Kim과 Kim, 2012).

식물의 생육을 조절하기 위해 사용되는 호르몬 계열의 생장

\*Corresponding author: [jungu@jbnu.ac.kr](mailto:jungu@jbnu.ac.kr)

Received November 6, 2023; Revised December 13, 2023;

Accepted December 14, 2023

조절제로는 지베렐린, 옥신, 사이토키닌 등이 있다. 그 중에서도 지베렐린은 딸기의 런너(runner) 형성을 촉진시키고 휴면을 타파시키며 뿌리를 신장시키고 꽃가루의 발달과 꽃가루관의 신장 촉진에 효과가 있다(Thompson, 1969; Guttridge와 Thompson, 1964). 딸기는 품종에 따라 식물체의 반응과 발근 특성에서 크게 차이가 있으며(Kim 등, 1999), 지베렐린에 대한 딸기의 반응은 식물체 내재 호르몬 수준 차이로 인해 품종 간 차이를 나타낸다(Lopez-Galarza 등, 1989).

이에 식물생장조절제 지베렐린은 딸기 삽목 육묘 시 묘의 생육에 영향을 줄 것으로 예측된다. 하지만 아직까지 국내 딸기 품종을 대상으로 삽목 육묘 방법을 이용하여 정식묘 양성을 할 때 지베렐린의 효과를 검증한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구는 정식묘 생산 시 적정 지베렐린 농도와 침지시간을 설정함으로써 삽목묘의 생존율을 높이고 식물체의 생육을 증진시킬 수 있을 것이라는 가정 하에, 국내 시장의 대부분을 점유하고 있는 육성딸기 ‘설향’을 대상으로 지베렐린 처리에 따른 생육 특성 비교를 통해 현장 적용에의 가능성을 검증하기 위해 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료 및 재배환경

딸기 삽수는 전북 익산시에 소재한 전라북도농업기술원(35°56'40.2"N 126°59'37.2"E)의 딸기 수정재배 온실 내 과실을 생산한 묘에서 2021년 6월 2일에 채취하였다. 채취한 ‘설향’ 삽수는 3°C에 냉장보관한 뒤 2021년 7월 7일에 딸기 육묘전용상토(Myung Jin Joo, Homan Industrial Co., Ltd., Jeongeup, Korea)를 충전한 육묘 포트(24 holes pot, 60×34×10cm, Hwaseong Industrial Co., Ltd., Korea)에 삽목하였다. 저온저장 후 삽목 시 삽수의 생육특성은 Table 1과 같다.

삽목묘 양성 시 식물생장조절제 지베렐린의 효과를 평가하기 위해 삽수 삽목 시에 합성 지베렐린(Dea-yu Gibberellin, Dea-yu Co., Ltd., Gyeongsan, Korea)을 각각 50, 100, 150 mg·L<sup>-1</sup>의 농도로 달리하여 처리하였다(Table 2). 냉장보관했던 삽수의 기부를 GA<sub>3</sub>에 각각 30, 60분간 침지한 후 상토에 삽목하였고, 증류수 침지를 대조로 두었다.

**Table 2.** Experimental table on strawberry cutting transplants according to the gibberellin treatment at planting date.

| Dipping time (min) | GA <sub>3</sub> concentration (mg·L <sup>-1</sup> ) | Marking <sup>z</sup> |
|--------------------|---|----------------------|
| 30                 | 50  | 30(50)               |
|                    | 100   | 30(100)              |
|                    | 150   | 30(150)              |
| 60                 | 50  | 60(50)               |
|                    | 100   | 60(100)              |
|                    | 150   | 60(150)              |
| 0                  | 0   | Control              |

<sup>z</sup>Use this notation for all figures below.

삽목한 삽수는 10일 동안 소형터널 안에서 부직포, 비닐, 차광망 순으로 덮어주고 두상관수로 표면이 마르지 않을 정도로 관리하여 활착시켰다. 그 후 부직포, 비닐, 차광망을 걷어내고 딸기 야마자키 전용 양액을 pH 6.0, EC 0.8dS·m<sup>-1</sup>로 본포 정식 30일 전까지 관주한 뒤, 정식 전 한 달간은 양액을 끊고 모든 처리구에 동일하게 관수 관리하였다.

양성한 묘는 2021년 9월 28일에 딸기 재배용 상토(The Zone, Gungon Geotec Industrial Co. Ltd., Jincheon, Korea)를 충전한 포트에 23×23cm 간격으로 정식하였다. 육묘기와 재배기 동안 흰가루병, 탄저병, 응애, 진딧물 등의 주요 병해충 방제를 위해 적용 약제를 주기적으로 살포하여 관리하였다.

### 2. 생육특성 조사

식물체의 초장, 엽장 등 생육특성은 특성조사 매뉴얼(RDA, 2017)의 기준에 맞춰 조사하였다. 활착된 묘를 대상으로 본포 정식 시와 정식 후 65일째에 엽수, 관부직경, SPAD 값, 생체중, 건물중, 엽면적 등을 조사하였다. 관부직경은 캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo Co. Ltd., Japan)를 이용해 측정했으며, SPAD 값은 엽록소 측정기(SPAD-502, Konica Minolta Inc., Osaka, Japan)를 이용해 조사하였고, 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3100 Area, LI-COR Inc., USA)를 사용해 측정하였다. 식물체 무게는 전자저울(Entris, Sartorius Inc., Germany)을 사용하여 조사하였는데, 이때 건물중은 60°C 항온 건조기

**Table 1.** The growth characteristics of strawberry cutting transplants at planting date.

| No. of leaves          | Plant height (cm) | Petiole length (cm) | Leaf length (cm) | Leaf width (cm) | SPAD value | Crown diameter (mm) | No. of roots | Length of root (cm) | Leaf area (cm <sup>2</sup> ) | Shoot fresh weight (g) | Shoot dry weight (g) |
|------------------------|-------------------|---------------------|------------------|-----------------|------------|---------------------|--------------|---------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|
| 3.3 ± 0.1 <sup>z</sup> | 19.1 ± 0.4        | 11.1 ± 0.4          | 7.3 ± 0.1        | 6.3 ± 0.1       | 33.1 ± 0.7 | 7.7 ± 0.4           | 14.0 ± 0.8   | 2.5 ± 0.4           | 181.5 ± 8.9                  | 6.3 ± 0.3              | 1.0 ± 0.1            |

<sup>z</sup>Mean ± SE (n = 10).

(DH-2009H, Korea Dry Tech., Korea)에서 식물체를 72시간 건조한 후 측정하였다.

본포 정식 후 각 처리에 따른 화아분화 정도를 비교하고자, 정식 후 65일째에 1화방 꽃대를 대상으로 꽃대 길이를 측정하고, 과실 수, 꽃 수, 꽃눈 수를 세어 화방 진행 정도를 조사해 그 정도를 비교하였다.

### 3. 엽록소형광 및 항산화물질 분석

지베렐린 처리에 따른 식물체 활성 정도를 조사하기 위해 본포 정식 시에 시료를 채취하여 각각 상위엽의 엽록소형광과 항산화물질을 조사하였다. 엽록소형광 지수는 엽록소형광이미지장치(Chlorophyll fluorescence imaging; Closed Fluorcam FC 800-C, PSI, Drasov, The Czech Republic)를 이용하여 측정하였고, 식물체를 20분간 암적응시킨 뒤 식물체와 카메라 간 거리를 20cm로 고정해 측정하였다. Quenching Act2 방법을 이용해 엽록소형광 지수를 획득했으며, FluorCam7 (Version.1.2.5.16, PSI, The Czech Republic)을 사용해 상위엽 1매 영역을 대상으로 엽록소형광 지수를 분석하였다.

항산화물질은 식물체 잎을 대상으로 조사하였고, 총폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu의 방법(Singleton과 Rossi, 1965), 총플라보노이드 함량은 Zhishen 등(1999)의 방법, DPPH 라디칼 소거능은 Blois(1958)의 방법을 변형 활용하여 측정하였다.

### 4. 통계분석

딸기 삽목묘 양성 시 지베렐린 농도와 침지시간이 미치는 영

향을 확인하기 위해 육묘기 동안 각 처리당 72개체씩 완전임의배치법 3반복으로, 재배기 동안에는 각 처리당 24개체씩 난괴법 3반복으로 배치하였다. 결과는 R program(version 4.3.1)을 이용하여 통계분석하였고, 던컨 다중검정(Duncan's multiple range test)의 95% 수준에서 처리 간 유의성을 검증하고 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 실험 결과의 그래프는 SigmaPlot 12.5(Systat Software Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 작성하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 지베렐린 처리가 삽목묘 생육에 미치는 영향

생장조절제는 딸기의 생육 특성에 영향을 미치는데(Momenpour 등, 2011), 그 중에서도 지베렐린은 딸기 런너 형성을 촉진시키며 영양생장 발달을 증가시키고, 꽃눈 형성을 억제하는 등 많은 생리적인 과정들에 관여한다(Porlingis와 Boynton, 1961; Thompson와 Guttridge, 1959). 여름철 삽목 육묘 시 지베렐린 침지처리가 자묘 생산에 미치는 영향을 파악하기 위해 본포 정식 시에 자묘의 생육 특성을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 그 결과 무처리 대비 지베렐린을 일정 농도로 일정 시간 처리하게 되면 생육에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

본포 정식 시 엽수는 60분, 100mg·L<sup>-1</sup>에서 6.1개로 가장 많았고, 30분, 100mg·L<sup>-1</sup>와 30분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 적었다. 초장과 엽병장은 60분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 각각 21.7cm, 12.9cm로 가장 짧았고, 대조구 대비 30분, 150mg·L<sup>-1</sup>, 60분, 50mg·L<sup>-1</sup>

**Table 3.** The growth characteristics of strawberry seedlings according to the gibberellin dipping time and concentration at transplanting date.

| Dipping time (A, min) | GA <sub>3</sub> concentration (B, mg·L <sup>-1</sup> ) | Plant height (cm)    | Petiole length (cm) | No. of leaves | Leaf length (cm) | Leaf width (cm) | SPAD value | No. of roots | Leaf area (cm <sup>2</sup> ) | Length of root (cm) | Length of runner (cm) |
|-----------------------|--|----------------------|---------------------|---------------|------------------|-----------------|------------|--------------|------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 30                    | 50   | 24.6 ab <sup>z</sup> | 14.8 ab             | 4.9 ab        | 8.9 abc          | 6.3 ab          | 41.6 abc   | 22.4 a       | 280.2 c                      | 17.8 a              | 6.6 a                 |
|                       | 100  | 25.0 ab              | 15.5 ab             | 4.5 b         | 8.4 bc           | 6.4 ab          | 38.8 c     | 17.2 b       | 298.1 bc                     | 19.2 a              | 7.4 a                 |
|                       | 150  | 29.3 a               | 17.5 a              | 4.6 b         | 10.5 a           | 7.5 a           | 39.5 bc    | 17.4 b       | 459.5 a                      | 19.1 a              | 8.6 a                 |
| 60                    | 50   | 29.6 a               | 18.3 a              | 5.2 ab        | 10.1 ab          | 7.3 a           | 42.5 a     | 19.4 ab      | 511.3 a                      | 18.5 a              | 21.2 a                |
|                       | 100  | 28.0 a               | 17.1 a              | 6.1 a         | 9.6 abc          | 6.5 ab          | 42.2 ab    | 18.0 ab      | 416.7 ab                     | 18.8 a              | 11.7 a                |
|                       | 150  | 21.7 b               | 12.9 b              | 5.2 ab        | 8.0 c            | 5.7 b           | 40.9 abc   | 20.2 ab      | 311.8 bc                     | 18.9 a              | 10.5 a                |
| Control               |  | 27.0 ab              | 16.2 ab             | 5.7 ab        | 9.8 ab           | 7.5 a           | 42.9 a     | 22.4 a       | 450.6 a                      | 19.1 a              | 6.1 a                 |
| ANOVA test            | A  | NS                   | NS                  | *             | NS               | NS              | *          | NS           | .                            | NS                  | NS                    |
|                       | B  | NS                   | NS                  | NS            | NS               | NS              | .          | NS           | NS                           | NS                  | NS                    |
|                       | A×B  | ***                  | **                  | NS            | ***              | ***             | NS         | NS           | ***                          | NS                  | NS                    |

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $p \leq 0.05$  ( $n=5$ ).

NS, ., \*, \*\*, \*\*\* Nonsignificant or significant at  $p \leq 0.1, 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$ , respectively.

와 60분, 100mg·L<sup>-1</sup>에서 길었다. 엽장과 엽폭은 초장, 엽병장과 마찬가지로 침지시간이 길고 농도가 가장 진했던 60분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 가장 짧았고, 침지시간이 짧고 농도가 진했던 30분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 길어서 침지시간에 따른 차이를 나타냄을 확인할 수 있었다. SPAD 값은 엽록소 함량을 나타내는데 60분, 50mg·L<sup>-1</sup>와 대조구에서 그 값이 컸고, 30분, 100mg·L<sup>-1</sup>에서 가장 작았으며 지베렐린 처리 시 무처리보다 값이 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 생장 챔버 내 딸기묘 양성 시 지베렐린을 엽면살포했을 때 엽록소 함량이 낮아졌다는 Thi 등(2019)의 결과와 일치하는 결과였다. 엽면적의 경우, 30분, 150mg·L<sup>-1</sup>와 60분, 50mg·L<sup>-1</sup> 및 대조구에서 면적이 가장 넓었고 다른 처리들에서는 대조구보다 그 값이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 지베렐린 처리에 의해 오히려 엽면적이 감소하였다는 Hasse 등(1989)과 Deyton 등(1991)의 연구결과와 마찬가지로, 일정 수준 이상의 지베렐린은 식물체의 영양생장에 영향을 줄 수 있는 것으로 생각되었다.

돌출된 뿌리수는 30분, 50mg·L<sup>-1</sup>와 대조구에서 22.4개로 가장 많았지만, 30분, 100mg·L<sup>-1</sup>와 30분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 각각 17.2개와 17.4개로 적었다. 반면 뿌리 길이는 처리 간 유의한 차이가 없었다. ANOVA 분산분석 결과, 엽수와 SPAD 값은 지베렐린 농도에 따른 유의성이 확인되었고 지베렐린 침지시간이 길수록 그 값들이 유의하게 증가하였다. 이와 달리 초장, 엽병장, 엽장, 엽폭, 엽면적은 지베렐린 침지농도와 침지시간 간 상호작용에 따른 유의성이 크게 인정되었다.

지베렐린은 작물에 따라 그 영향이 다르게 나타나는데, 꽃도라지에서는 줄기를 신장시키고(Hisamatsu 등, 1999), 칼라에서는 개화를 촉진시키며(Corr와 Widmer, 1987), 딸기에서는 런너 형성을 촉진시킨다(Guttridge와 Thompson, 1964). 본 연구에서는 지베렐린을 처리한 삼목묘의 본포 정식 시에 모든 처리구에서 런너가 동시 출현하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1). 이때 처리 간 통계적으로 유의한 차이는 없었으나

지베렐린을 처리하지 않은 대조구에서 6.1cm로 런너 길이가 가장 짧았고, 지베렐린을 처리할 경우 런너 길이가 증가하였다. 60분, 50mg·L<sup>-1</sup>에서 21.2cm로 런너의 길이가 가장 길었으나, 60분 침지구에서는 농도가 증가할수록 길이가 감소하는 경향을 나타냈다. Momenpour 등(2011)은 딸기에 지베렐린을 저농도로 처리할 경우 런너 형성을 증가시키지만 고농도로 처리할 경우에는 오히려 런너 형성을 억제한다고 하였다. 선행 연구결과와 마찬가지로 본 실험에서도 지베렐린 처리에 따라 런너 형성에 효과가 있음을 확인할 수 있었지만 통계적으로 유의한 차이가 없던 차이는, 자료 생산을 위한 지베렐린 처리를 했던 선행연구와 달리 본 실험에서는 정식묘로서 생식생장과 영양생장을 같이 하고 있는 상태의 묘를 조사했기에 그 결과에서 다소 차이가 있는 것으로 생각되었다.

지베렐린 처리에 따른 생체중과 건물중을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 지상부 생체중과 건물중은 30분, 50mg·L<sup>-1</sup>, 30분, 100mg·L<sup>-1</sup>, 60분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 가벼웠고, 60분, 50mg·L<sup>-1</sup>, 60분, 100mg·L<sup>-1</sup>와 대조구에서 무거웠다. 지하부 생체중은 60분, 50mg·L<sup>-1</sup>에서 7.0g으로 가장 무거웠고 30분, 100mg·L<sup>-1</sup>에서 4.6g으로 가장 가벼웠지만, 지하부 건물중은 처리 간 유의한 차이가 없었다. ANOVA 분석 결과, 지상부 생체중과 지상부 건물중은 침지시간 및 침지시간과 농도 간의 교호작용에 따른 유의성이 인정되었다. 지상부 무게는 침지시간이 길수록 유의하게 증가하였고, 지베렐린을 흡수 기부에 어느 시간 동안 침지하는가와 그 시간과 농도 간의 상호작용에 큰 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다.

딸기 고품질 묘는 적절한 관부직경, 뿌리 개수 및 무게, T/R률, 뿌리 활력을 지니고 화아분화가 이루어진 병해충 감염없는 건전한 식물체로 판단된다(Uematsu, 1998). 본포 정식 시 관부직경을 조사한 결과, 대조구 대비 60분, 100mg·L<sup>-1</sup>에서 9.8mm로 굵었지만 30분, 100mg·L<sup>-1</sup>에서 7.8mm로 얇아 같은 농도라 할지라도 침지시간에 따른 차이가 나타났다(Fig.

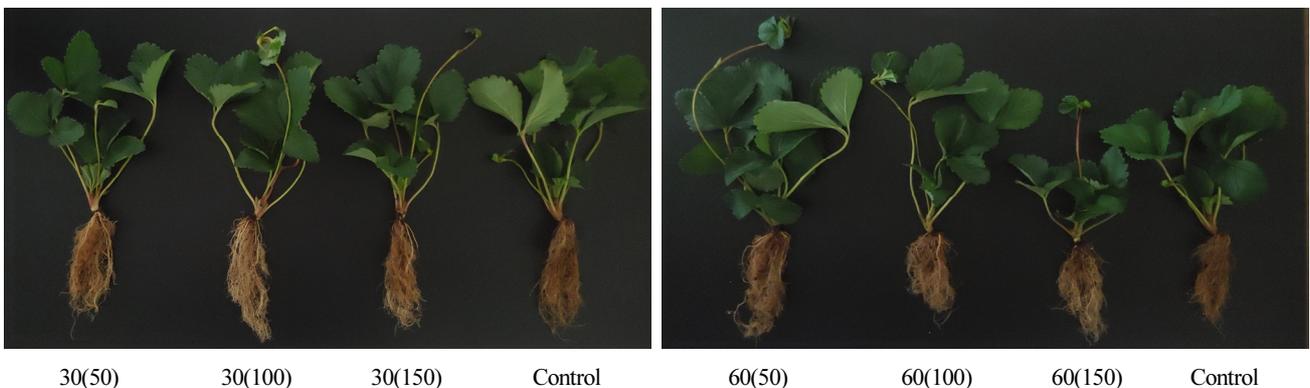


Fig. 1. Growth of strawberry seedlings according to the gibberellin dipping time and concentration at transplanting date.

3). 이러한 결과는 겨울철 모주 생산 시 지베렐린을 처리했던 Kim 등(2023)의 연구결과와 다소 다른 결과였는데, 이는 시기에 따른 내생 지베렐린의 차이를 반영한 결과로 생각되며, 이와 관련해서는 식물체 내 호르몬 조사 등 추후 연구가 더 필요할 것으로 사료된다. 딸기 관부직경의 두께는 묘의 건전성을 판단하는 기준으로 활용되는데, 딸기 정식묘의 관부직경이 8mm 이상인 묘는 정식 후 생육과 뿌리 활성이 좋고 과실 생산이 증가하며 수확 속도가 빨라지는 경향이 있다(Cocco 등, 2010; Durner 등, 2002). 본 실험에서는 30분, 100mg·L<sup>-1</sup> 처리를 제외한 모든 처리구들에서 관부직경이 8mm 이상으로 대묘가 형성되었다. 이는 지베렐린 농도가 높아질수록 딸기 묘 기형이 발생하기 때문에 적합한 처리 농도 설정이 필요하

다고 보고했던 선행 실험들(Kang 등, 2018; Lee 등, 2013)과 마찬가지로, 딸기 ‘설향’ 자묘 생산을 위한 삼복 육묘 시 지베렐린을 일정 수준으로 처리하는 것이 무처리 대비 생육을 증진하는 데 유리하게 작용하여 건전묘 생산에 보다 적합한 것으로 생각되었다.

Ahn 등(1988)은 T/R률이 작을수록 화아분화가 빨라지며, T/R률이 증가하면 지상부 생장이 뿌리 발달보다 증가하여 식물체를 약하게 만든다고 하였다. 지베렐린 처리 시 T/R률은 무처리 대비 30분, 50mg·L<sup>-1</sup>에서 1.98로 가장 작아 식물체 활력이 가장 우수했지만, 30분, 150mg·L<sup>-1</sup>와 60분, 100mg·L<sup>-1</sup>에서 그 값이 커서 활력이 저조하였다. 지베렐린은 주근 발달을 촉진시키고 부정근 형성을 억제시키며(Pamfil과 Bellini,

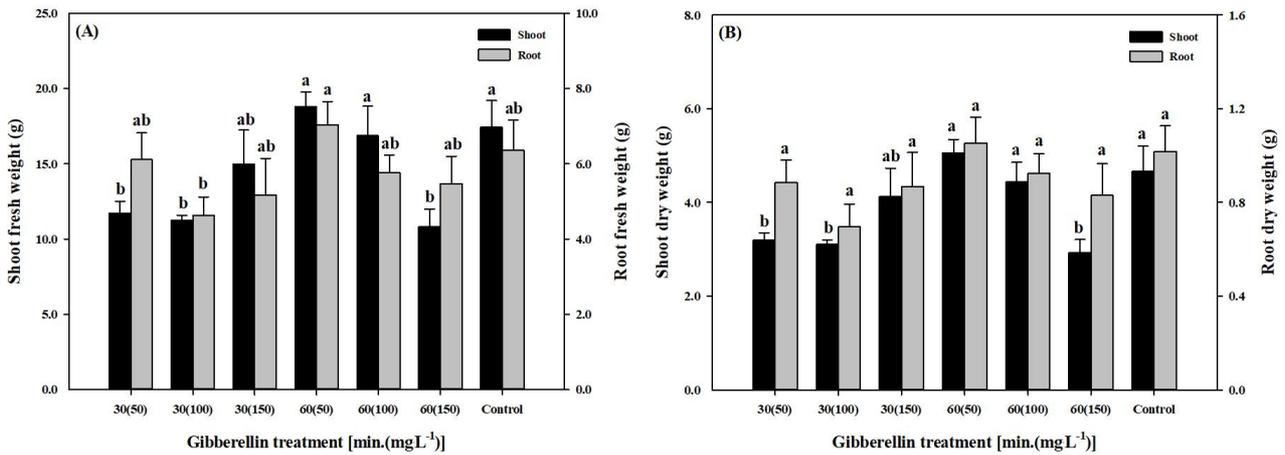


Fig. 2. Comparison of fresh weight (A) and dry weight (B) according to the gibberellin dipping time and concentration at transplanting date. Vertical bars represent the standard error (n = 5). Different letters at the top of the vertical bar indicate a statistical difference according to Duncan's multiple-range tests at  $p \leq 0.05$ .

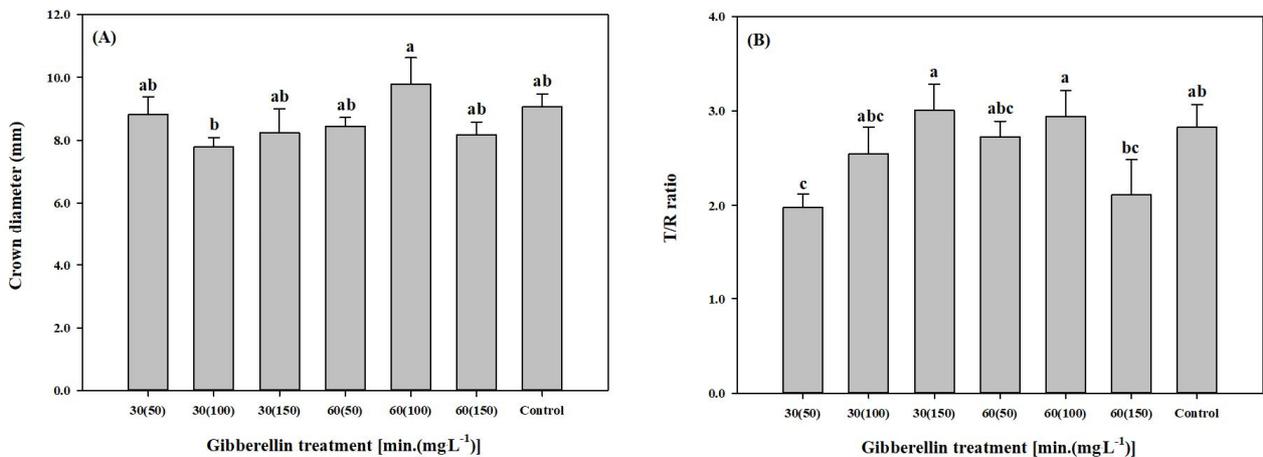


Fig. 3. Comparison of crown diameter (A) and T/R ratio (B) according to the gibberellin dipping time and concentration at transplanting date. Vertical bars represent the standard error (n = 5). Different letters at the top of the vertical bar indicate a statistical difference according to Duncan's multiple-range tests at  $p \leq 0.05$ .

2011; Fu와Harberd, 2003), 딸기 모주에 지베렐린 처리 시 지하부 생육이 부진했다고 보고된 바 있다(Kang 등, 2018). 이러한 선행 연구들에 비추어 볼 때, 고농도의 지베렐린 혹은 일정 시간 이상의 침지시간과 높은 농도의 효과는 딸기 삼목의 발달에 부정적인 영향을 미쳐 T/R률에 영향을 끼치는 것으로 생각되었다.

이상의 결과, 딸기 자묘 생산을 위한 삼목 육묘 시 지베렐린을 처리함으로써 무처리 대비 묘 생육과 활력을 증진시킬 수 있음을 확인하였고, 이때 삼수를 지베렐린 50mg·L<sup>-1</sup> 농도에 30분간 침지하는 것이 묘의 활력을 높이는 데 보다 적절한 것으로 판단되었다.

## 2. 지베렐린 처리가 삼목묘 광합성 효율, 생리활성 및 꽃눈 전개에 미치는 영향

식물체는 환경스트레스에 의해 광합성 활성이 감소하며, 그 정도는 엽록소형광반응 측정을 통해 간접적으로 정량화할 수 있다(Chaerle 등, 2007). 딸기 삼목 육묘 시 지베렐린을 처리하는 것이 묘의 스트레스 요인으로 작용하는지 검증하고 묘의 건전성을 판단하고자 지베렐린 처리에 따른 엽록소형광지수들을 조사한 결과는 Table 4와 같다.

식물체의 최대 광화학적 효율을 나타내는 양자수율(quantum yield, Fv/Fm)은 대표적인 엽록소형광 지수로서, 스트레스 상황 속에서 식물의 건전성을 판단하는 지수로 활용된다(Hazrati 등, 2016). 양자수율은 지베렐린 농도가 가장 진했던 30분,

150mg·L<sup>-1</sup>와 60분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 0.827로 낮았다. ANOVA 분석 결과, 지베렐린 처리 농도에 따른 유의성이 인정되었고, 농도가 높을수록 양자수율이 감소하는 경향을 나타냈다. 이를 통해 일정 농도 이상으로 지베렐린을 사용할 경우 딸기 삼목묘의 스트레스 요인으로 작용하여 광합성 효율이 오히려 감소한다고 해석할 수 있었다.

비광화학적 형광 소멸(NPQ, nonphotochemical quenching)은 과도한 광에너지에 대한 식물체의 보호기작을 나타내며, 식물체가 스트레스를 받으면 그 수치가 증가한다(Ruban, 2016). 지베렐린 처리에 따른 삼목묘의 정식 시 NPQ를 조사한 결과, 대조구 대비 30분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 1.117로 유의하게 그 값이 작아 일정 농도로 일정 시간 지베렐린을 처리하는 것은 묘의 스트레스 정도를 감소시키는 결과가 있었다. 이때 지베렐린 농도가 증가할수록 NPQ는 유의하게 증가하는 경향을 보여, 과도한 농도의 지베렐린 처리는 오히려 식물체의 스트레스 요인으로 작용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

플라보노이드를 포함한 페놀류 물질은 식물의 모든 부위에 존재하는 2차 대사산물로 단백질 및 거대분자들과 쉽게 결합하여 항산화, 항균, 항암 등 다양한 생리활성을 나타내는 방향족 화합물이다(Yoshizawa 등, 1987). 지베렐린 처리가 딸기 삼목묘의 항산화능에 미치는 영향을 파악하기 위해 본포 정식 시 딸기 잎을 대상으로 총폴리페놀과 총플라보노이드 함량 및 DPPH 라디칼 소거능을 측정된 결과는 Fig. 4와 같다.

총폴리페놀 함량은 30분, 50mg·L<sup>-1</sup>와 60분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 각각 135.9mg GAE/g, 131.1mg GAE/g으로 가장 많았고, 무처리 대조구에서 94.9mg GAE/g으로 가장 적었다. 그리고 총플라보노이드 함량은 30분, 50mg·L<sup>-1</sup>와 60분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 각각 45.3mg RE/g, 44.1mg RE/g으로 가장 많았고, 무처리 대조구에서 33.9mg RE/g으로 가장 적어 총폴리페놀 함량과 유사한 경향을 나타냈다. DPPH 라디칼 소거능 또한 이와 비슷한 경향을 보였는데, 30분, 50mg·L<sup>-1</sup>와 60분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 65.8%로 가장 높았으며 대조구에서 47.1%로 가장 낮았다. 이러한 결과는 메밀에서 총플라보노이드, 총폴리페놀, DPPH 라디칼 소거능에서 항산화 활성능력은 지베렐린 처리 시 높아졌다는 Park(2020)의 연구 결과와 일치하는 결과였다. ANOVA 분석 결과, 총폴리페놀 함량, 총플라보노이드 함량, DPPH 라디칼 소거능 모두 지베렐린 침지시간과 처리 농도 간의 상호작용 효과를 유의하게 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

DPPH 라디칼 소거능은 생물체의 대사작용 또는 산화작용에 의해 발생된 활성산소를 제거하는 항산화 및 노화 억제 평가 지표로 활용될 수 있다(Kim 등, 2012; Blois, 1958). 쇠뜨기 열수 추출물의 DPPH 라디칼 소거능은 0.05mg·mL<sup>-1</sup>에서

**Table 4.** Comparison of chlorophyll fluorescence in strawberry seedlings according to the gibberellin dipping time and concentration.

| Dipping time (A, min)   | GA <sub>3</sub> concentration (B, mg·L <sup>-1</sup> ) | QY <sup>z</sup> (Fv/Fm) | NPQ <sup>y</sup> |
|-------------------------|--|-------------------------|------------------|
| 30                      | 50   | 0.843 a <sup>x</sup>    | 1.117 b          |
|                         | 100  | 0.837 a                 | 1.483 a          |
|                         | 150  | 0.827 b                 | 1.547 a          |
| 60                      | 50   | 0.840 a                 | 1.530 a          |
|                         | 100  | 0.843 a                 | 1.433 a          |
|                         | 150  | 0.827 b                 | 1.593 a          |
| Control                 |  | 0.843 a                 | 1.630 a          |
| ANOVA test <sup>y</sup> | A  | NS                      | .                |
|                         | B  | ***                     | *                |
|                         | A×B  | NS                      | *                |

<sup>z</sup>Quantum yield.

<sup>y</sup>Nonphotochemical quenching.

<sup>x</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $p \leq 0.05$ .

NS, ., \*, \*\*\*Nonsignificant or significant at  $p \leq 0.1, 0.05, \text{ or } 0.001$ , respectively.

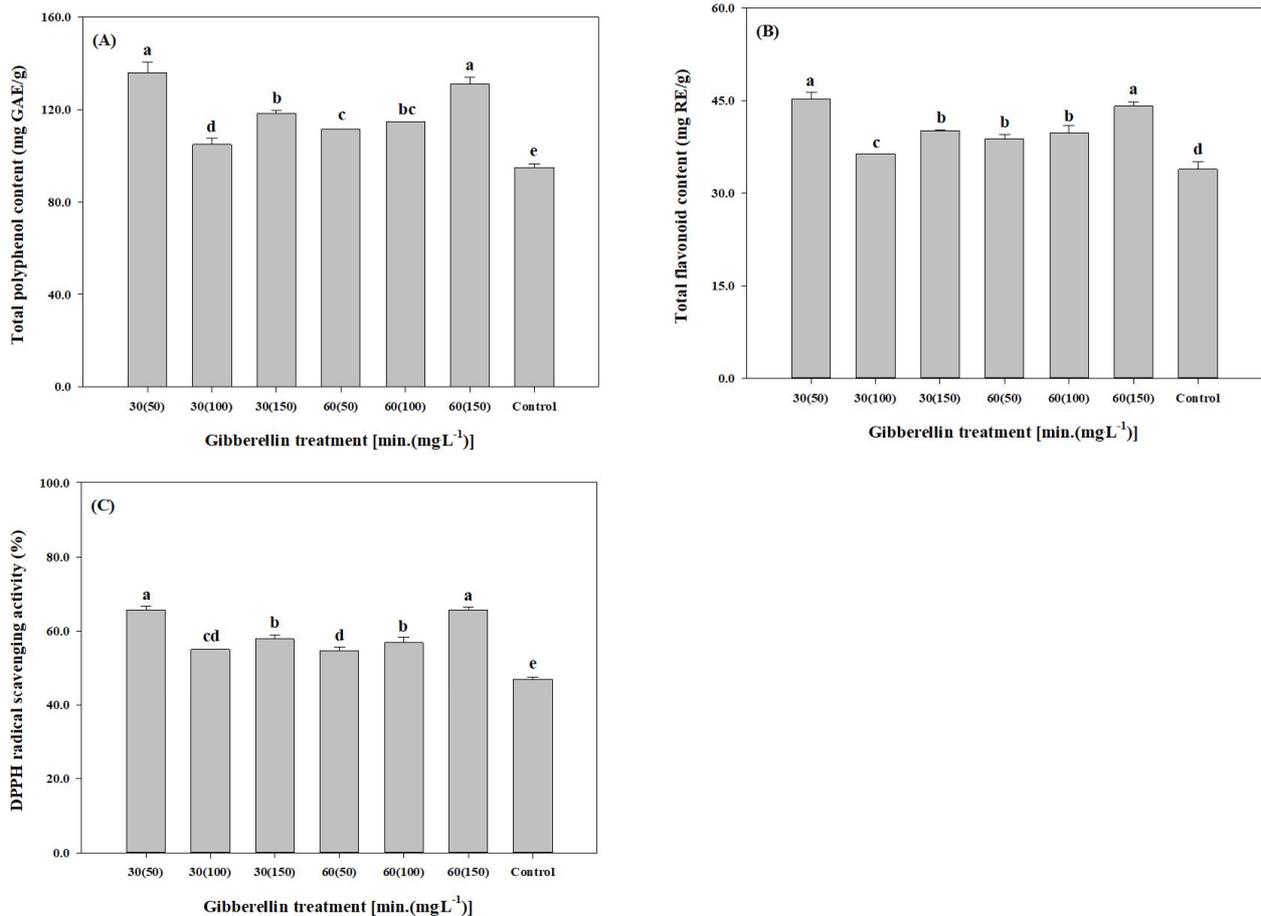
생식줄기, 영양줄기 순으로 유의한 차이가 있었으며 생식줄기가 영양줄기보다 많은 폴리페놀과 플라보노이드 화합물을 함유하고 있었다(Kong과 Lee, 2015). 이러한 선행연구를 바탕으로 30분, 50mg·L<sup>-1</sup>와 60분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 항산화물 함량이 가장 높게 나타난 것을 통해, 딸기 삼목묘를 지베렐린에 일정 시간 동안 일정 농도로 처리하게 되면 무처리보다 자묘의 항산화성을 높일 수 있는 것으로 생각되었다.

지베렐린은 줄기 성장, 종자의 발아, 개화 및 과실 성장을 촉진하고 과실의 단위결실을 유기하며 휴면을 타파하는 호르몬으로, 딸기와 같은 호흡 비급등형 과실에서 지베렐린은 과실의 성장을 조절하는데, 과실의 발달과정에서 화탁세포의 비대는 내생 지베렐린에 의해서 조절된다(Guleria 등, 2021; Csukasi 등, 2011; Symons 등, 2006). 이러한 지베렐린은 작물의 영양생장에 밀접하게 관여하는데, 과실을 생산하는 감귤류에 지베렐린을 처리했을 때 화아분화를 억제하여 착화량을 줄어들었다는 보고들이 있다(Pharis와 King, 1985; Takaki

등, 1989; Moon 등, 2003). 이에 딸기 삼목묘 재배 시 화아분화에 미치는 지베렐린의 영향을 비교하고자 정식 후 65일째에 작물 생육 및 화아분화 정도를 비교한 결과는 Table 5와 같다.

초장의 경우 30분, 150mg·L<sup>-1</sup>에서 16.1cm로 유의하게 짧았지만, 정식 시 생육과 달리 엽수, 엽병장, 엽장, 엽폭, SPAD 값, 관부직경은 처리 간 유의미한 차이가 없었다. 1화방 꽃대 길이 또한 처리 간 차이가 없었으나, 60분, 50mg·L<sup>-1</sup>에서 16.9cm로 가장 길었다. 화아분화 정도를 비교하기 위해 1화방 진행 정도를 비교한 결과, 꽃수는 60분, 50mg·L<sup>-1</sup>에서 2.6개로 가장 많았고 30분, 150mg·L<sup>-1</sup>와 60분, 100mg·L<sup>-1</sup>에서 적었다. 반면 꽃눈 수와 과실 수는 처리 간 차이가 없었고, 꽃눈 수와 꽃 수와 과실 수의 합계로 계산한 화방 진행 정도 또한 유의미한 차이가 없었다.

정상적인 식물의 성장을 위해서는 지베렐린의 양성적 신호 전달에 의한 지베렐린의 농도와 음성적 신호전달에 의한 생리



**Fig. 4.** Comparison of total polyphenol content (A), total flavonoid content (B) and DPPH radical scavenging activity (C) in leaves according to the gibberellin dipping time and concentration. Vertical bars represent the standard deviation of two replications (n = 5). Different letters at the top of the vertical bar indicate a statistical difference according to Duncan's multiple-range tests at  $p \leq 0.05$ .

**Table 5.** The growth and flower induction characteristics of strawberry according to the gibberellin dipping time and concentration at 65 days after transplanting.

| Dipping time (A, min) | GA <sub>3</sub> concentration (B, mg·L <sup>-1</sup> ) | Plant height (cm)   | Petiole length (cm) | No. of leaves | Leaf length (cm) | Leaf width (cm) | SPAD value | Crown diamener (mm) | Length of peduncle (cm) | Progress of 1 <sup>st</sup> flower cluster |                    |                   |               |
|-----------------------|--|---------------------|---------------------|---------------|------------------|-----------------|------------|---------------------|-------------------------|--|--------------------|-------------------|---------------|
|                       |  |                     |                     |               |                  |                 |            |                     |                         | No. of flower buds (C)                     | No. of flowers (D) | No. of fruits (E) | Total (C+D+E) |
| 30                    | 50   | 21.3 a <sup>z</sup> | 13.0 a              | 12.7 a        | 7.6 a            | 7.2 a           | 45.9 a     | 23.9 a              | 15.9 a                  | 4.2 a                                      | 1.6 ab             | 2.0 a             | 7.8 a         |
|                       | 100  | 23.1 a              | 13.8 a              | 14.1 a        | 8.0 a            | 7.0 a           | 44.7 a     | 23.6 a              | 16.3 a                  | 4.9 a                                      | 1.6 ab             | 1.0 a             | 7.5 a         |
|                       | 150  | 16.1 b              | 13.1 a              | 16.0 a        | 8.2 a            | 6.9 a           | 43.4 a     | 28.1 a              | 11.4 a                  | 3.2 a                                      | 0.8 b              | 1.4 a             | 5.4 a         |
| 60                    | 50   | 22.5 a              | 12.2 a              | 15.4 a        | 8.5 a            | 7.0 a           | 46.9 a     | 26.2 a              | 16.9 a                  | 5.4 a                                      | 2.6 a              | 1.4 a             | 9.4 a         |
|                       | 100  | 23.2 a              | 13.4 a              | 16.1 a        | 8.2 a            | 7.1 a           | 43.8 a     | 21.7 a              | 10.9 a                  | 2.8 a                                      | 1.0 b              | 1.0 a             | 4.8 a         |
|                       | 150  | 21.6 a              | 12.7 a              | 14.4 a        | 8.1 a            | 6.8 a           | 46.0 a     | 23.9 a              | 14.8 a                  | 4.0 a                                      | 1.4 ab             | 1.6 a             | 7.0 a         |
| Control               |  | 23.9 a              | 13.2 a              | 13.1 a        | 8.9 a            | 7.6 a           | 47.5 a     | 24.3 a              | 12.9 a                  | 4.4 a                                      | 1.4 ab             | 2.0 a             | 7.8 a         |
| ANOVA test            | A  | .                   | NS                  | NS            | NS               | NS              | NS         | NS                  | NS                      | NS   | NS                 | NS                | NS            |
|                       | B  | *                   | NS                  | NS            | NS               | NS              | NS         | NS                  | NS                      | NS   | *                  | NS                | NS            |
|                       | A×B  | NS                  | NS                  | NS            | NS               | NS              | NS         | NS                  | NS                      | NS   | NS                 | NS                | NS            |

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $p \leq 0.05$  (n=5).  
NS, \* Nonsignificant or significant at  $p \leq 0.1, 0.05$ , respectively.

활성 지베렐린의 농도가 적절하게 유지되는 것이 매우 중요하다(Chandler와Robertson, 1999; Dill 등, 2001). 본 연구에서는 딸기 삼목 육묘 시 지베렐린을 처리하게 되면 화아분화 감소에 미치는 영향없이 묘의 생육과 활력을 증대할 수 있음을 확인할 수 있었는데, 그러한 결과를 나타내게 하는 정확한 생리기작에 관한 연구는 추후에 더 이루어져야 할 것으로 사료된다.

이상의 결과, 축성재배 딸기묘 양성 시 지베렐린을 일정 농도로 일정 시간 처리하게 되면 우량묘 형성에 보다 유리한 효과를 가져오는 것으로 생각되었다. 이때 딸기 삼목묘의 광합성 효율을 높이고 항산화성을 증대시켜 축성재배에 적절한 정식묘를 만들기 위해서는 삼수를 30분, 50mg·L<sup>-1</sup> 처리로 지베렐린에 침지하는 것이 보다 적합한 것으로 판단되었다.

## 적 요

본 연구는 딸기의 삼목 육묘 시 묘소질을 향상시키고 품질을 증진시키기 위한 지베렐린 효과를 검증하기 위해 수행되었다. 품종은 ‘설향’을 대상으로 하였고, 삼목 시 삼수의 기부를 30, 60분간 GA<sub>3</sub> 50, 100, 150mg·L<sup>-1</sup>에 침지 처리하고 증류수 침지를 대조구로 두었다. 정식 시 묘소질 조사 결과 엽수와 SPAD 값은 지베렐린 침지시간이 길수록 증가하였고, 초장, 엽병장, 엽장, 엽폭, 엽면적은 침지시간과 농도 간의 상호작용에 따라

유의하게 값이 변하였다. 관부직경은 같은 농도라 할지라도 침지시간에 따른 차이가 나타났으며 30분, 100mg·L<sup>-1</sup> 처리를 제외하고 모두 직경이 8.0mm 이상으로 우량한 묘가 생성되었으며, T/R률은 30분, 50mg·L<sup>-1</sup> 처리에서 유의하게 작아 식물체 활력이 가장 우수했다. 양자수율은 농도가 150mg·L<sup>-1</sup>일 때 저조하였고, 지베렐린 처리 농도가 높을수록 양자수율이 감소하는 경향을 나타냈다. NPQ는 대조구 대비 30분, 150mg·L<sup>-1</sup> 처리에서 유의하게 작아 묘스트레스 감소에 효과가 있었다. 항산화물 함량은 30분, 50mg·L<sup>-1</sup> 처리와 60분, 150mg·L<sup>-1</sup> 처리에서 높게 나타났고, 정식 후 생육조사 결과 화아분화 정도에 미치는 지베렐린의 부정적 영향은 없었다. 따라서, ‘설향’ 딸기의 삼목 육묘 시 지베렐린 처리는 정식묘 양성에 효과가 있는 것을 확인할 수 있었으며, 이때 대조구 대비 생육 증진 및 품질 향상을 위해서는 삼수 기부를 50mg·L<sup>-1</sup>의 지베렐린에 30분 침지처리하는 것이 보다 적절한 것으로 판단되었다.

**추가주제어:** 묘소질, 삼목, 식물생장조절제, 축성재배, GA<sub>3</sub>

## 사 사

본 연구는 전라북도농업기술원의 연구비 지원으로 수행되었음.

## Literature Cited

- Ahn C.K., J.C. Park, and I.C. Yu 1988, Effect of pot nursing in forcing culture on flower bud differentiation, growth and yield of strawberry. *J Korean Hortic Soc Sci Technol* 6:76-77.
- Blois M.S. 1958, Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181:1199-1200.
- Chaerle L., I. Leininen, H.G. Jones, and D.V.D. Streaten 2007, Monitoring and screening plant populations with combined thermal and chlorophyll fluorescence imaging. *J Exp Bot* 58:773-784. doi:10.1093/jxb/erl257
- Chandler P.M., and M. Robertson 1999, Gibberellin dose-response curves and the characterization of dwarf mutants of barley. *Plant Physiol* 120:623-32. doi:10.1104/pp.120.2.623
- Cocco C., J.L. Andriolo, L. Erpen, F.L. Cardoso, and G.S. Casagrande 2010, Development and fruit yield of strawberry plants as affected by crown diameter and plantlet growing period. *Pesq Agropec Bras Brasilia* 45:730-736. doi:10.1590/S0100-204X2010000700014
- Corr B.E., and R.E. Widmer 1987, Gibberellic acid increases flower number in *Zantedeschia elliottiana* and *Z. rehmanii*. *HortScience* 23:1001-1002. doi:10.21273/HORTSCI.22.4.605
- Csakasi F., S. Osorio, and J.R. Gutierrez 2011, Gibberellin biosynthesis and signalling during development of the strawberry receptacle. *New Phytol* 191:376-390. doi:10.1111/j.1469-8137.2011.03700.x
- Deyton D.E., C.E. Sams, and J.C. Cummins 1991, Strawberry growth and photosynthetic responses to paclobutrazol. *Hort Science* 26:1178-1180. doi:10.21273/HORTSCI.26.9.1178
- Dill A., H.S. Jung, and T.P. Sun 2001, The DELLA motif is essential for gibberellin-induced degradation of RGA. *Proc Natl Acad Sci* 98:14162-14167. doi:10.1073/pnas.251534098
- Durner E.F., E.B. Poling, and J.L. Maas 2002, Recent advances in strawberry plug transplant technology. *HortTechnology* 12:545-550. doi:10.21273/HORTTECH.12.4.545
- Fu X., and N.P. Harberd 2003, Auxin promotes *Arabidopsis* root growth by modulating gibberellin response. *Nature* 421:740-743. doi:10.1038/nature01387
- Guleria S., M. Kumar, A. Khan, and R. Kaushik 2021, Plant hormones: Physiological role and health effects. *J Microbiol Biotechnol Food Sci* 11:1-8. doi:10.15414/jmbfs.1147
- Guttridge C.G., and P.A. Thompson 1964, The effect of gibberellins on growth and flowering of *Fragaria* and *Duchesnea*. *J Exp Bot* 15:631-646. doi:10.1093/jxb/15.3.631
- Hasse L., M. Pritts, and M. Eames-Sheavly 1989, Growth regulators affect vegetative and reproductive growth in a dayneutral and Junebearing strawberry cultivar. *Adv Strawberry Prod* 8:45-50.
- Hazrati S., Z. Tahmasebi-Savestani, S.A.M. Modarres-Sanavy, A. Mokhassi-Bidgoli, and S. Nicola 2016, Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. *Plant Physiol Biochem* 106:141-148. doi:10.1016/j.plaphy.2016.04.046
- Hisamatsu T., M. Koshioka, N. Oyama, and L.N. Mander 1999, The relationship between endogenous gibberellins and rosetting in *Eustoma grandiflorum*. *J Jpn Soc Hortic Sci* 68:527-533. doi:10.2503/jjshs.68.527
- Hwang H.S., H.W. Jeong, H.R. Lee, and S.J. Hwang 2020, Rooting rate and survival rate as affected by humidification period and medium type of 'Maehyang' strawberry on cutting propagation. *Protected Hort Plant Fac* 29:219-230. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2020.29.3.219
- Jun H.J., E.H. Jeon, S.I. Kang, and G.H. Bae 2014, Optimum nutrient solution strength for Korean strawberry cultivar 'Daewang' during seedling period. *Korean J Hortic Sci Technol* 32:812-818. (in Korean) doi:10.7235/hort.2014.14079
- Kang D.I., H.K. Jeong, Y.G. Park, H. Wei, J. Hu, and B.R. Jeong 2019, Humidification and shading affect growth and development of cutting propagated 'Maehyang' strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) at propagation stage. *Protected Hort Plant Fac* 28:429-437. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2019.28.4.429
- Kang H.J., H.J. Song, S.J. Park, Z.H. Kim, and S.W. Lee 2011, Effects of crown diameter on plant growth and fruit yield in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *J Agric Life Sci* 45:81-86. (in Korean)
- Kang J.H., H.M. Kim, H.M. Kim, H.W. Jeong, H.R. Lee, H.S. Hwang, B.R. Jeong, N.J. Kang, and S.J. Hwang 2018, Gibberellin application method and concentration affect to growth, runner, and daughter plant production in 'Maehyang' strawberry during nursery period. *Protected Hort Plant Fac* 27:407-414. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2018.27.4.407
- Kim C.S., and Z.S. Kim 2012, Effects of cutting time, auxin treatment, and cutting position on rooting of the green-wood cuttings and growth characteristics of transplanted cuttings in the adult *Prunus yedoensis*. *Korean J Hortic Sci Technol* 30:129-136. (in Korean) doi:10.7235/hort.2012.11041
- Kim E.J., C.S. Kim, H.S. Jung, and J.G. Lee 2023, Promotion of growth and development of 'Seolhyang' strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) runner plant by gibberellin treatment. *Protected Hort Plant Fac* 32:295-301. (in Korean). doi:10.12791/KSBEC.2023.32.4.295
- Kim E.J., J.Y. Choi, M.R. Yu, M.Y. Kim, S.H. Lee, and B.H. Lee 2012, Total polyphenols, total flavonoid contents, and antioxidant activity of Korean natural and medicinal plants. *Korean J Food Sci Technol* 44:337-342. (in Korean)
- Kim H.M., H.M. Kim, H.W. Jeong, H.R. Lee, B.R. Jeong, N.J. Kang, and S.J. Hwang 2018, Growth and rooting rate of 'Maehyang' strawberry as affected by irrigation method on cutting propagation in summer season. *Protected Hort Plant Fac* 27:103-110. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2018.27.2.103
- Kim T.I., W.S. Kim, J.H. Choi, W.S. Jang, and K.S. Seo 1999,

- Comparison of runner production and growth characteristics among strawberry cultivars. Korean J Horti Sci Technol 17:111-114. (in Korean)
- Kong M.R., and Y.S. Lee 2015, Anti-oxidative and anti-aging properties of hot water extracts from fertile and sterile *E. arvense* stems. J Invest Cosmetol 11:315-324. (in Korean)
- Lee J.E., H.W. Do, D.W. Choi, J.D. Cheung, M.K. Kim, and Y.S. Shin 2013, Runner production as influenced by gibberellin treatment in mother plant of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). Korean J Horti Sci Technol 31(Suppl II):55. (in Korean)
- Lopez-Galarza S., B. Pascual, J. Algarda, and J.V. Maroto 1989, The influence of winter gibberellic acid applications on earliness, productivity and other parameters of quality in strawberry cultivation (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) on the spanish mediterranean coast. Acta Horti 265:217-222. doi:10.17660/ActaHorti.1989.265.32
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) 2022, 2021 production amount and index of agriculture and forestry. Available via <http://www.mafra.go.kr> Accessed 3 April 2023.
- Momenpour A., T.S. Taghavi, and S. Manochehr 2011, Effects of benzyladenine and gibberellin on runner production and some vegetative traits of three strawberry cultivars. Afr J Agric Res 6:4357-4361.
- Moon Y.E., Y.H. Kim, C.M. Kim, and S.O. Kho 2003, Effects of foliar application of GA<sub>3</sub> on flowering and fruit quality of very early-maturing satsuma mandarin. Korean J Horti Sci Technol 21:110-113.
- Pamfil D., and C. Bellini 2011, Auxin control in the formation of adventitious roots. Not Bot Horti Agrobot Cluj-Napoca 39:307-316. doi:10.15835/nbha3916101
- Park B.S. 2020, A study on growth and total polyphenols, flavonoid contents and antioxidant activity of buckwheat by gibberellin and silicic acid application. Master Thesis, Kangwon National Univ., Chuncheon, Korea.
- Pharis R.P., and R.W. King 1985, Gibberellins and reproductive development in seed plants. Ann Rev plant Physiol 36:517-568. doi:10.1146/annurev.pp.36.060185.002505
- Porlingis I.C., and D. Boynton 1961, Growth responses of the strawberry plant, *Fragaria chiloensis* var. *ananassa*, to gibberellic acid and to environmental conditions. J Am Soc Horti Sci 78:261-269.
- Ruban A.V. 2016, Nonphotochemical chlorophyll fluorescence quenching: mechanism and effectiveness in protecting plants from photodamage. Plant Physiol 170:1903-1916. doi:10.1104/pp.15.01935
- Rural Development Administration (RDA) 2017, Standard manual of characteristics investigation for breeding new varieties of strawberries. RDA, Jeonju, Korea.
- Singleton V.L., and J.A. Rossi 1965, Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Am J Enol Vitic 16:144-158. doi:10.5344/ajev.1965.16.3.144
- Symons G.M., C. Davies, Y. Shavrukov, I.B. Dry, J.B. Reid, and M.R. Thomas 2006, Grapes on steroids. Brassinosteroids are involved in grape berry ripening. Plant Physiol 140:150-158. doi:10.1104/pp.105.070706
- Takaki T., A. Tomiyasu, M. Matsushima, and T. Suzuki 1989, Seasonal changes of GA-like substances in fruit and current shoots of satsuma mandarin trees. J Jpn Soc Horti Sci 58:569-573. doi:10.2503/jjshs.58.569
- Thompson P.A. 1969, The effect of applied growth substances on development of the strawberry fruit: II. Interactions of auxins and gibberellins. J Exp Bot 20:629-647. doi:10.1093/jxb/20.3.629
- Thompson P.A., and C.G. Guttridge 1959, Effect of gibberellic acid on the initiation of flowers and runners in the strawberry. Nature 184:72-73. doi:10.1038/184072a0b
- Uematsu Y. 1998, Principles and practices in strawberry cultivation. Seibundo-shinkosha, Tokyo, Japan, pp 2-44 (in Japanese).
- Yoshizawa S., T. Horiuchi, T. Yoshida, and T. Okuda 1987, Antitumor promoting activity of (-)-epigallocatechin gallate, the main constitutions of tannin green tea. Phytother Res 1:44-47. doi:10.1002/ptr.2650010110
- Zhishen J., T. Mengcheng, and W. Jianming 1999, The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chem 64:555-559. doi:10.1016/S0308-8146(98)00102-2