

## 브러싱 소재에 따른 토마토 공정묘의 생장억제

정현우<sup>1</sup> · 이혜리<sup>1</sup> · 황희성<sup>2</sup> · 김은빈<sup>3</sup> · 황승재<sup>4,5,6\*</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 대학원 응용생명과학부 대학원생, <sup>2</sup>경상대학교 대학원 작물생산과학부 대학원생,  
<sup>3</sup>경상대학교 농업생명과학대학 농업식물과학과 학부생, <sup>4</sup>경상대학교 농업생명과학대학 농업식물과학과 교수,  
<sup>5</sup>경상대학교 생명과학연구원 교수, <sup>6</sup>경상대학교 농업생명과학연구원 교수

## Growth Suppression of Tomato Plug Seedlings as Affected by Material Type for Brushing Stimulation

Hyeon Woo Jeong<sup>1</sup>, Hye Ri Lee<sup>1</sup>, Hee Sung Hwang<sup>2</sup>, Eun Bin Kim<sup>3</sup>, and Seung Jae Hwang<sup>4,5,6\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Division of Applied Life Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>2</sup>Graduate Student, Division of Crop Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>3</sup>Under Graduate Student, Department of Agricultural Plant Science, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>4</sup>Professor, Department of Agricultural Plant Science, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>5</sup>Professor, Research Institute of Life Science, Gyeongsang National University Jinju 52828, Korea

<sup>6</sup>Professor, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

**Abstract.** This study was conducted to find proper material of brushing stimulation for height suppression of tomato plug seedlings. The tomato seeds were sown in 40-cell plug tray filled with commercial seedling medium and brushing stimulation was started at 18 days after sowing. Acrylic, polypropylene film, and weaving film were used by materials of brushing stimulation and, non-treatment and diniconazole treatment were used as the control. In acrylic treatment, the plant height was the shortest and the stem diameter was the thickest. Leaf growth was the lowest in diniconazole treatment. However, the SPAD value was the greatest in diniconazole treatment. The dwarf rate was the greatest in acrylic treatment. In acrylic treatment, the T/R ratio was the lowest and compactness was the greatest. In conclusion, use of the acrylic as material for brushing stimulation has higher dwarf rate than diniconazole treatment, and has advantages height suppression and seedling quality.

**Additional key words :** acrylic, compactness, seedling quality, T/R ratio

## 서 론

한국의 공정육묘산업은 1990년 초반에 도입되어 전문화 및 분업화된 산업으로 확대되고 있으며, 상업적인 공정 육묘장은 2015년 기준 240개소, 178ha의 면적으로 증가되고 있는 추세이다(Jeong, 2002; Jeong 등, 2016). 공정묘의 이용은 원예작물의 생산에 있어 노동력 절감, 생산시기와 생산량의 제어를 통한 계획생산 등의 장점을 가지고 있다. 공정육묘장의 기계화는 파종의 정확성, 시간절감, 종자소모 감소, 묘의 수송과 취급 용이, 공간이용 효율 증대와 같은 장점이 있다(RDA, 2016).

도장은 공정묘의 품질을 하락시키는 주요 요인이며, 많은

농가에서 묘의 도장을 억제하기 위해 트리아졸계 화합물인 화학적 생장억제제를 이용하고 있다(Kim 등, 1998; Bae, 1999; Yun 등, 2007; Sun 등, 2010). 하지만 이러한 화학적 생장억제제는 공정묘의 생산 시 고농도의 이용과 빈번한 처리로 인한 과도한 왜화, 순뿔이 등과 같은 생리장해로 개화지연, 정식 후 기형과 발생 및 착과절위 불량 등이 발생할 수 있다(Choi 등, 2001). 뿐만 아니라 트리아졸계 화합물은 대부분이 농약 허용물질 목록 관리제도(positive list system, PLS)에 등록되어 있지 않은 미등록 약제로 이를 대체하기 위한 생장조절 기술의 개발이 필요한 실정이다.

생장조절제를 사용하지 않고 식물의 생육을 조절하는 방법으로는 주-야간 온도차, 양수분 조절, 광조절, 물리적 자극을 이용하는 방법이 있다. 이 중, 물리적 자극에 의한 식물의 형태 변화를 접촉형태형성(thigmomorphogenesis)이라는 용어로

\*Corresponding author: [hsj@gnu.ac.kr](mailto:hsj@gnu.ac.kr)

Received February 24, 2020; Revised March 23, 2020;

Accepted March 26, 2020

정의하고 있다(Jaffe, 1973). 이러한 접촉형태형성은 다양한 기계적 자극을 통한 식물의 스트레스 반응을 통틀어 칭하고 있으며, 쓸어주기(burhsing), 문지르기(rubbing), 접촉(touching), 바람(wind) 등 여러가지 자극을 포함하고 있다(Baden과Latimer, 1992; Samimy, 1993; Morel 등, 2012; Hernandez, 2016; Graham과Wheeler, 2017; Kim 등, 2018). 이 중 brushing 자극은 육묘 벤치 상부에 이송장치를 설치하여 식물 canopy 상부의 성장점 자극 및 스트레스 유발을 통해 생육을 억제하는 효과가 있고 현장 활용이 용이한 방법이다. 하지만, 이러한 brushing 자극의 현장적용을 위한 구체적인 처리방법에 관한 연구는 부족한 실정이다. 특히 brushing 자극 시 식물체에 직접적으로 맞는 소재에 따라 식물체에 가해지는 자극 및 스트레스의 강도가 달라져 도장억제 효과가 미미하거나 식물체에 맞는 부분의 찢어짐과 줄기의 부러짐과 같은 기계적 상처가 발생할 수 있다.

따라서 본 연구는 토마토 공정묘 생산 시 도장을 억제하기 위한 기계적 자극 중 육묘현장에 적용하기 쉬운 brushing 자극을 이용하여 도장억제에 적합한 brushing 소재를 선발하고 자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 식물재료 및 실험처리

본 실험은 2018년 3월 16일에 brushing 소재에 따른 토마토 (*Solanum lycopersicum* L. 'Dotaerang Dia', Koregon Co., Ltd. Korea) 플러그 묘의 도장억제 효과를 구명하기 위하여 경상대학교 부속농장 벤로형 유리온실에서 수행되었다. Brushing 소재는 연질 아크릴(acrylic, 두께 1mm, 단위 면적 당 중량 1.13kg·m<sup>-2</sup>), 폴리프로필렌(polypropylene film, 두께 1 mm, 단위 면적 당 중량 0.1kg·m<sup>-2</sup>), 직조 필름(weaving film, 두께 0.5 mm, 단위 면적 당 중량 1kg·m<sup>-2</sup>) 등 3종류로 하였다. Brushing 처리를 위하여 자동 타이머를 이용한 이송장치(240×120×80cm) 3대를 제작하여 베드(240×120cm) 상부에 설치하였고, 각 소재를 육묘용 베드의 brushing 장치의 바(bar)에 설치하여 묘와 brush와의 접촉지점의 높이를 임의로 조절할 수 있게 하였다(Fig. 1). 실험을 위한 묘 생산을 위하여 토마토 종자를 상업적 공정육묘용 혼합상토(Tosilee, Shinan Grow Co. Ltd., Jinju, Korea)가 충전된 40구 플러그 트레이(54 × 27.5 × 5cm, Bumnong Co. Ltd., Jeongeup, Korea)에 파종하였다. 그리고 본엽이 완전히 전개되었던 4월 2일부터 4월 25일까지 23일 간 초당 0.2m의 속도로 2시간 간격(1일 12회)으로 brushing 처리를 실시하였다(Kim 등, 2018). Brushing 처리 효과를 기존 방법과 비교하기 위하여 무처리, 성장조정

제 처리를 추가하였다. 성장조정제인 빈나리(diniconazole 5%, Dongbangagro Co. Ltd., Seoul, Korea)를 본엽이 출현한 식물체에 3g/20L(유효성분기준 7.5mg·L<sup>-1</sup>)로 조제하여 트레이 당 120mL씩 엽면 살포하였다. 묘의 양수분 공급은 Sonneveld 토마토 전용 액비(Sonneveld와 Straver, 1994)를 조제하여 pH 6.5와 EC 1.5dS·m<sup>-1</sup>로 조정된 양액을 2일 간격으로 1회 저면관수 하였다(Table 1).

### 생육조사

토마토 플러그 묘의 생육 조사는 처리 일로부터 5일 간격으로 트레이 당 6주씩(총 30주)을 무작위로 선발하여 초장, 하배축, 절간장, 엽장, 엽폭을 조사하였다. 묘의 경경은 버니어캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo Co. Ltd., Kawasaki, Japan)를 이용하여 지제부 상단 1cm를, SPAD 값은 엽록소 측정기(SPAD-502, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 완전히 전개된 잎을, 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3000, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)를 이용하여 측정하였다. 지상부의 생체중과 건물중은 전자저울(EW220-3NM, Kern & Sohn GmbH., Balingen, Germany)을 이용하여 측정하였고, 건물중은 시료를 70°C 항온 건조기(Venticell-222, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH., Planegg, Germany)에서 72시간 건조 후 측정하였다. 상대성장률(RGR, relative growth rate), 성장속도(CGR, crop growth rate), 엽면적비(LAR, leaf area rate), 왜화율(dwarf rate), 묘의 충실도(compactness) 및 T/R율은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2012)을 기초로 아래의 계산식으로 산출하였다.

$$\text{상대성장률(RGR, g}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})=(\log_e w_2 - \log_e w_1)/(t_2 - t_1)$$

$$\text{성장속도(CGR, g}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1})=(w_2 - w_1)/(t_2 - t_1)$$

$$\text{엽면적률(LAR, cm}^2\cdot\text{g}^{-1})=L/W$$

$$\text{왜화율(dwarf rate, \%)}=(\text{무처리구 초장} - \text{각 처리의 초장}) / \text{무처리구 초장} \times 100$$

$$\text{충실도(compactness, mg}\cdot\text{cm}^{-1})=\text{지상부의 건물중} / \text{식물체의 초장}$$

- w<sub>1</sub>, w<sub>2</sub>: 시작 및 종료시점의 식물체당 건물중
- t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>: 시작 및 종료시점의 시간
- L: 식물체당 엽면적
- W: 총 건물중

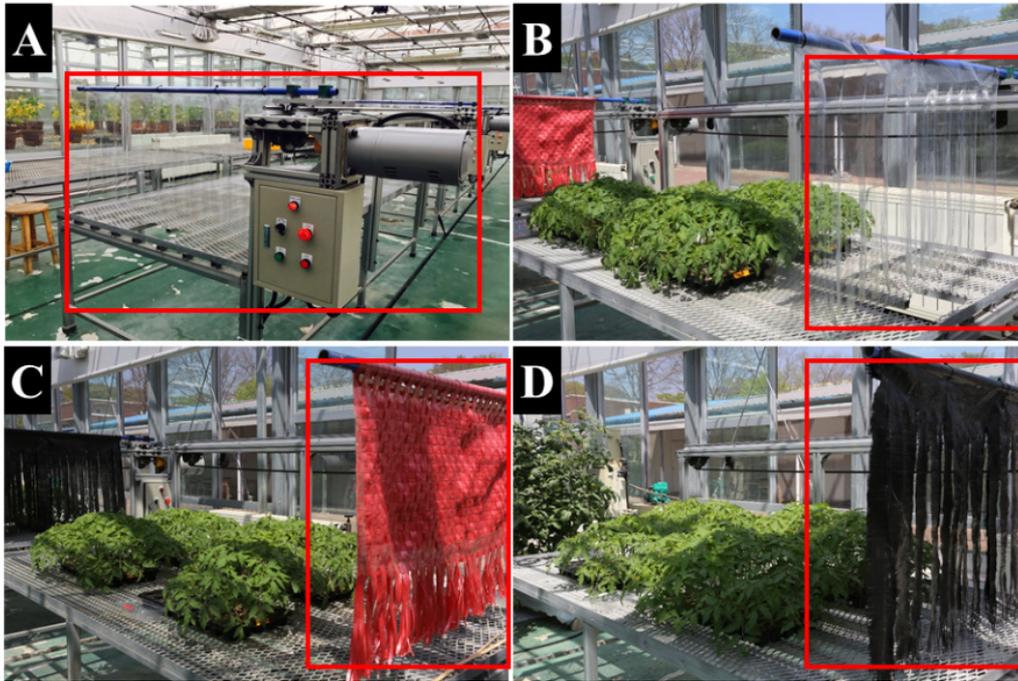


Fig. 1. The brushing machine (A), acrylic film (B), polypropylene film (C), and weaving film (D) used in the experiment as brushing materials.

Table 1. The composition of the nutrient solution used in the experiment.

Chemical	Conc. (mg·L <sup>-1</sup> )	Chemical	Conc. (mg·L <sup>-1</sup> )
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1,227.2	Fe-EDTA	5.67
KNO <sub>3</sub>	444.4	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1.84
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	204.0	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.20
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	565.8	MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	2.16
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	96.0	H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.40
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	356.7	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.60

### 통계분석

통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 평균 간 비교는 던킨의 다중검정을 이용하여 5% 유의수준에서 각 처리간 유의성을 검증하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그램(SigmaPlot 12.0, Systat Software Inc., San Jose, Ca, USA)을 이용하여 나타내었다.

### 결과 및 고찰

Brushing 처리 후 23일째 토마토 묘의 생장 억제는 acrylic 처리에서 가장 크게 나타났다(Fig. 2). Acrylic 처리에서 묘의 초장이 유의적으로 짧았고, 경경은 가장 두꺼웠다(Table 2). Brushing 자극을 통한 작물의 초장 억제와 경경의 증가는 많

은 연구들의 결과와 일치하였다. Baden과 Latimer(1992)의 연구에서 brushing 자극이 토마토, 가지, 오이 등과 같은 과채류 작물의 초장을 감소시킨다고 보고하였고, Kim 등(2018)의 연구에서는 2시간 간격으로 brushing 자극 시 토마토 묘의 초장이 diniconazole을 사용한 처리와 유사하게 감소한 것으로 보고되었다. 또한 Morel 등(2012)의 연구에서 장미 재배 시 brushing 처리를 적용하였을 때, 초장의 감소와 경경이 두꺼워진다고 보고되었다. Porter 등(2009)의 연구에서도 파파야 육묘에서 기계적 자극 처리시 대조구 대비 하배축의 경경이 두꺼워 짐과 동시에 초장을 감소시킨다고 보고하였다. 이와 같이 기계적 자극을 받은 식물체의 초장 감소와 경경 증가는 접촉형태형성 반응에 의한 줄기의 길이가 짧아지고 경경이 두꺼워지는 등의 복합적인 경화 또는 강화 반응이라고 보고되고 있다(Goodman과 Ennos, 2001).

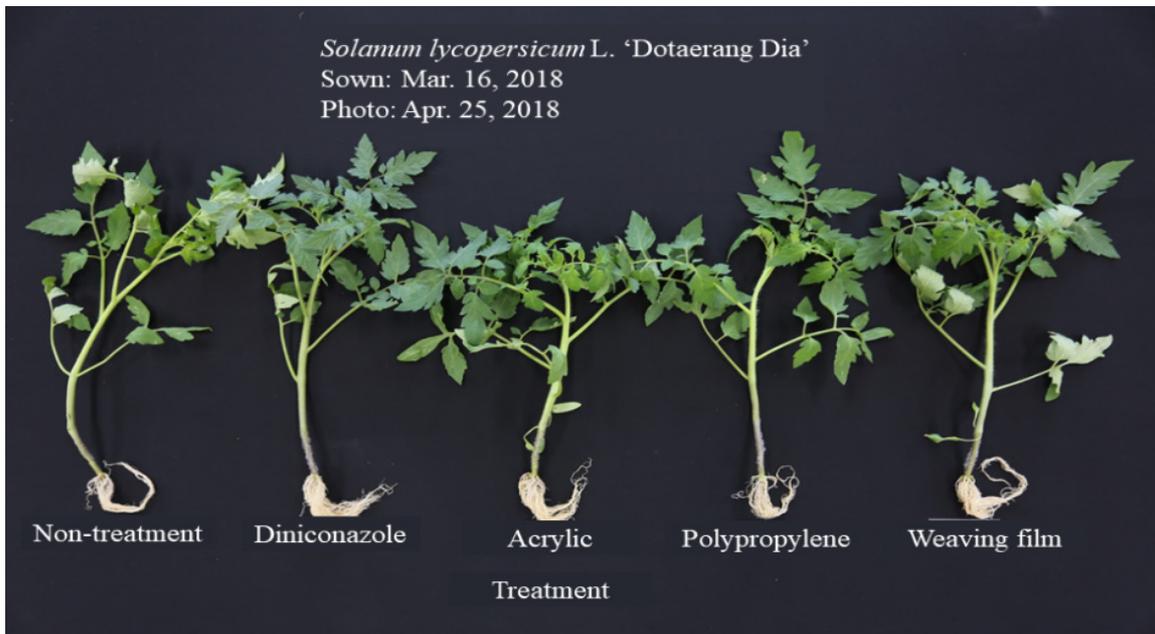


Fig. 2. Growth of tomato plug seedlings as affected by different brushing materials at 23 days after treatments.

Table 2. Growth characteristics of tomato plug seedlings as affected by different brushing materials at 23 days after treatments.

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (cm)	Root length (cm)	Number of nodes	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> /plant)	SPAD
Non-treatment	28.5 a <sup>2</sup>	5.1 b	16.63 a	8.67 b	7.83 a	4.37 a	289.53 a	33.58 c
Diniconazole	24.5 b	4.8 c	17.78 a	9.33 a	5.94 c	3.59 c	235.62 b	43.07 a
Acrylic	21.6 c	5.5 a	16.93 a	9.27 a	6.85 b	3.93 bc	287.87 a	38.61 b
Polypropylene	24.7 b	5.3 ab	18.26 a	9.13 a	7.07 b	4.08 ab	292.17 a	37.82 b
Weaving film	27.2 a	5.2 b	17.31 a	8.87 ab	7.15 b	4.11 ab	287.92 a	37.37 b

<sup>2</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P \leq 0.05$ .

토마토 묘의 엽장, 엽폭, 엽면적은 diniconazole 처리에서 가장 낮았다. 또한 토마토 묘의 엽록소 농도를 나타내는 SPAD 값은 diniconazole 처리에서 가장 높았고, 무처리구에서 가장 낮았다. 그리고 brushing 소재에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Yeung 등(2005)의 연구에서 diniconazole 처리 시 배추에서 SPAD 값이 증가했다고 보고하였으며, 이는 잎의 단위 면적당 chlorophyll 농도의 증가로 인해 나타난 결과로 판단된다(Suh와 Chung, 1986; Sun 등, 2009).

토마토 묘의 다양한 brushing 소재에 따른 초장의 변화는 무처리구에서 생육기간 동안 높은 값을 보여주며 가장 큰 변화량을 보였고, Acrylic 처리에서는 10일 이후부터 다른 처리보다 유의하게 억제되었다(Fig. 3A). 건물중은 모든 처리구에서 처리 후 15일째 polypropylene 처리에서 유의적으로 낮았지만, 최종생육이었던 처리 후 23일째에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Fig. 3B). 상대생장률은 polypropylene 처리

에서 다른 처리에 비해 유의적으로 감소하였으며, 엽면적률은 상대적으로 증가하는 경향을 나타냈다(Table 3).

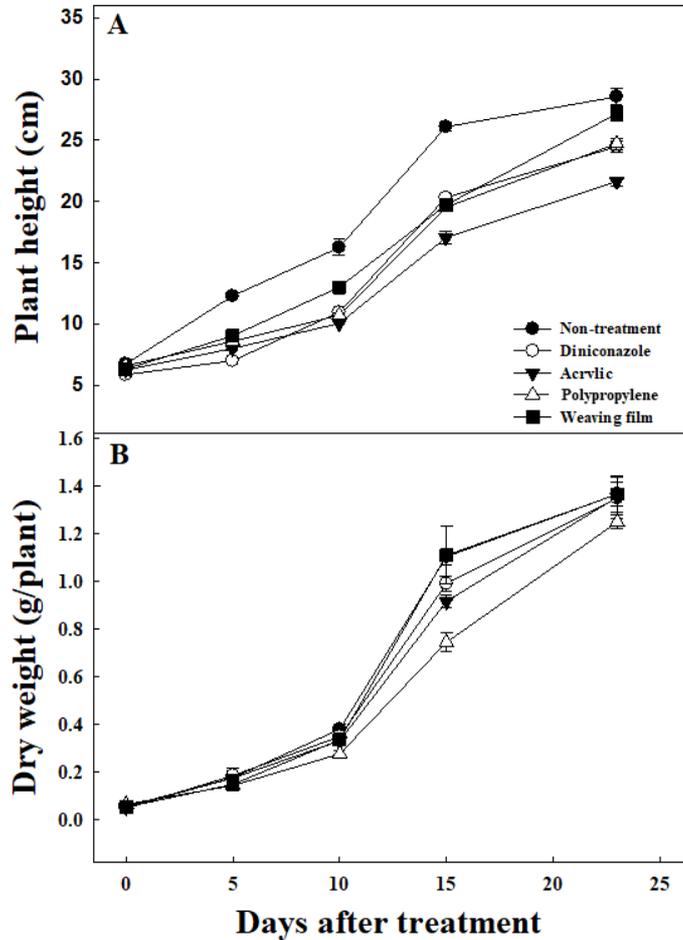
왜화율은 수치가 높을수록 무처리구에 비해 초장이 감소하여 생장억제효과가 있는 것을 의미한다(Fig. 4). 본 연구에서 무처리구에 비해 diniconazole 처리에서는 14%, acrylic 처리에서는 24%로 높은 왜화율을 보여 brushing 자극 시 연질 아크릴소재를 이용하는 것이 diniconazole 처리 보다 생장억제효과가 높은 것으로 나타났다.

Fig. 5는 처리 후 23일째의 T/R율과 묘의 충실도를 나타낸 그래프이다. 과채류 플러그 묘의 품질을 나타내는 지표 중 하나인 T/R율은 낮은 값일수록 지하부의 건물중이 높아 지상부보다 지하부의 생육이 증가하여 근권의 발달이 우수한 묘라고 판단할 수 있으며, 충실도는 전체 건물중에 지상부의 초장을 나누는 값으로, 그 값이 높을수록 묘의 품질이 우수하다고 보고되고 있다(Zhang 등, 2003; Lee 등, 2016). 본 연구에서는

acrylic 처리에서 T/R율의 가장 낮게 나타나 지하부의 생육이 우수한 것으로 판단되며, 초장이 짧아 다른 처리에 비해 상대적으로 충실도가 유의성 있게 높게 나타났다.

이상의 결과들을 종합하면, 연질 아크릴 소재를 이용한

brushing 처리는 생장조정제인 diniconazole을 충분히 대체할 수 있는 식물의 생장조절기술로 판단된다. 특히, 높은 왜화 효과뿐만 아니라 뿌리 발생을 증가시키는 효과를 통해 현장의 부적절한 환경에서 발생하는 웃자람을 제어할 수 있을 것으로



**Fig. 3.** Change of plant height (A) and dry weight (B) of tomato seedlings as affected by different brushing materials during seedling period. Vertical bar represent the stand deviation of the mean (n = 6).

**Table 3.** Fresh and dry weights of shoot and root and analysis of growth parameters of tomato plug seedlings as affected by different brushing materials at 23 days after treatments.

Treatment	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)		Growth parameters <sup>z</sup>		
	Shoot	Root	Shoot	Root	RGR (g <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	CGR (g <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	LAR (cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )
Non-treatment	15.5 a <sup>y</sup>	1.8 a	1.2 a	0.13 a	0.137 a	0.0571 a	240.67 ab
Diniconazole	15.4 a	2.1 a	1.2 a	0.15 a	0.144 a	0.0567 a	206.87 c
Acrylic	16.2 a	2.0 a	1.2 a	0.15 a	0.141 a	0.0566 a	240.54 ab
Polypropylene	16.2 a	1.7 a	1.1 a	0.13 a	0.128 b	0.0515 a	262.15 a
Weaving film	15.9 a	1.9 a	1.2 a	0.15 a	0.141 a	0.0571 a	237.37 b

<sup>z</sup>RGR, relative growth rate; CGR, crop growth rate; and LAR, leaf area rate.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P ≤ 0.05.

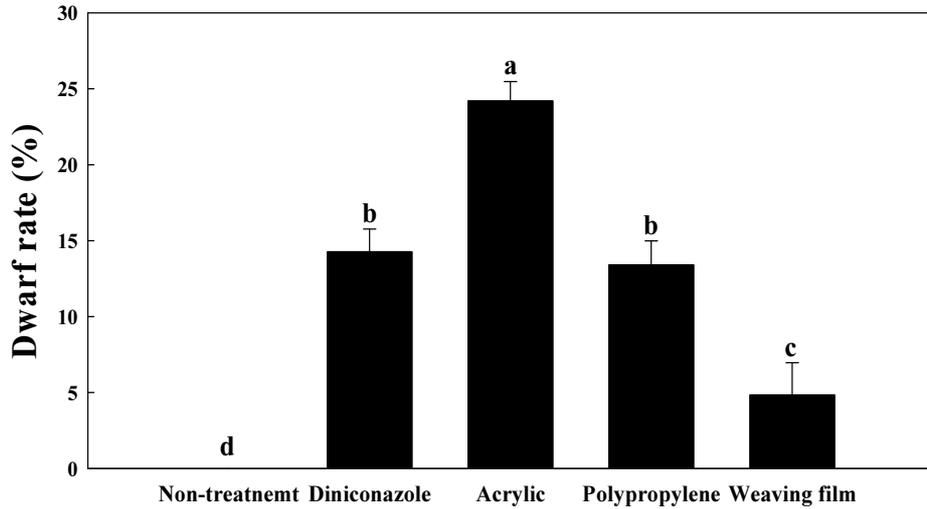


Fig. 4. The dwarf rate of tomato plug seedlings as affected by different brushing materials at 23 days after treatments. Vertical bar represent the stand deviation of the mean (n = 15). Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at  $P \leq 0.05$ .

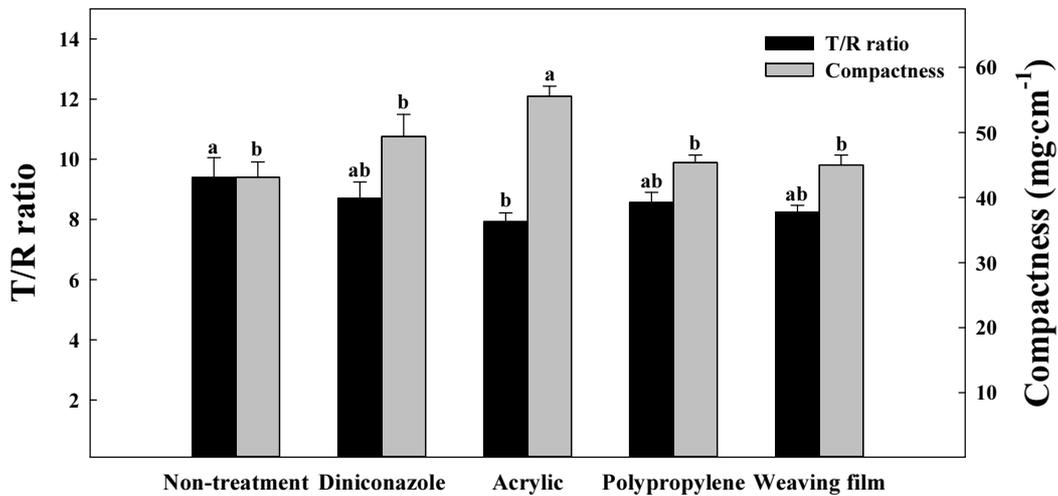


Fig. 5. T/R ratio and compactness of tomato plug seedlings as affected by different brushing materials at 23 days treatments. Vertical bar represent the stand deviation of the mean (n = 15). Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at  $P \leq 0.05$ .

판단된다. 그리고 본연구를 통해 brushing 처리가 토마토 공정묘의 도장억제 및 묘소질 향상에 효과적이며 현장 적용이 가능할 것으로 판단되지만, 기계적 자극을 위한 시스템 설치, 자동화를 위한 초기투자비용에 대한 경제성, 작물별 처리 방법 및 brushing의 강도 등에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 적 요

본 연구는 토마토 공정묘 생산 시 생장 억제를 위한 적정 brushing 소재를 구명하기 위해 수행하였다. 토마토 종자를 상업적 공정육묘용 상토가 충전된 40구 플러그 트레이에 파

종하였으며, 파종 후 18일째부터 brushing 자극을 처리하였다. Brushing 소재는 연질 아크릴, 폴리프로필렌, 직조필름 소재를 이용하여 brushing 처리를 하였으며, 대조구로 무처리구와 diniconazole을 엽면살포 처리하였다. 연질 아크릴 처리에서 초장이 유의적으로 가장 짧았고, 경경은 가장 두꺼웠다. 잎의 크기는 diniconazole 처리에서 가장 낮았으나, SPAD값은 가장 높게 나타났다. 연질 아크릴 처리에서 T/R율이 가장 낮고, 왜화율과 충실도가 가장 높게 나타났다. 결과적으로, brushing 자극 처리를 위해 연질 아크릴 소재를 이용하는 것이 diniconazole 처리 보다 왜화율이 높아 도장 억제에 유리하며 묘 소질이 우수한 묘를 생산하는데 적절할 것으로 판단된다.

**추가 주제어:** 묘 소질, 연질 아크릴, 충실도, T/R율

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01277301)의 지원에 의해 수행되었음.

## Literature Cited

- Baden, S.A. and J.G. Latimer. 1992. An effective system for brushing vegetable transplants for height control. Hort Technology 2:412-414.
- Bae, E.J. 1999. Growth control of vegetable seedlings by growth retardant and UV light treatment. PhD. Diss Kyung Hee Univ, Seoul, Korea.
- Choi, Y.H., H.C. Lee, D.K. Park, J.K. Kwon, and J.H. Lee. 2001. Effects of mechanical stimulation and chemical treatments on growth of seedlings and yield of tomato. Kor. J. Hortic. Sci. Tehcnol. 19:320-324 (in Korean).
- Goodman, A.M. and A.R. Ennos. 2001. The effects of mechanical stimulation on the morphology and mechanics of maize roots grown in an aerated nutrient solution. International J. Plant Sci. 162:691-696.
- Graham, T. and R. Wheeler. 2017. Mechanical stimulation modifies canopy architecture and improves volume utilization efficiency in bell pepper: implications for bioregenerative life-support and vertical farming. Open Agriculture 2:42-51.
- Hernandez, L.F. 2016. Wind as a mechanical stimulus affect the rate of early reproductive development in sunflower (*Helianthus annuus* L.). International J. Advanced Res. Bot. 2:14-24.
- Jaffe, M.J. 1973. Thigmomorphogenesis: the response of plant growth and development to mechanical stimulation. Planta (Berl.) 114:143-157.
- Jeong, B.R. 2002. Current status and problems in the transplant production of floral crops. Kor. J. Hortic. Sci. Technol. 20:197-204 (in Korean).
- Jeong, B.R., S.J. Hwang, and N.J. Kang. 2016. Plug seedling. GSpress, Jinju, Korea.
- Kim, H.M., H.R. Lee, H.W. Jeong, H.M. Kim, and S.J. Hwang. 2018. Height suppression of cucumber and tomato plug seedling using of brushing stimulus. Protected Hort. Plant Fac. 27:285-293 (in Korean).
- Kim, S.J., J.M. Lee, and C.K. Kang. 1998. Effects of seed treatment with triazole chemicals on emergence, seedling growth, and adventitious rooting of gourd. Kor. J. Hotric. Sci. Tehcnol. 39:140-144 (in Korean).
- Lee, J.E., Y.S. Shin, H.W. Do, J.D. Cheung, and Y.H. Kang. 2016. Effect of seedling quality and growth after transplanting of Korean melon nursed under LED light sources and intensity. Protected Hort. Plant Fac. 25:294-301 (in Korean).
- Morel, P., L. Crespel, G. Galopin, and B. Moulia. 2012. Effect of mechanical stimulation on the growth and branching of garden rose. Sci. Hortic. 135:59-64.
- Porter, B.W., Y.J. Zhu, D.T. Webb, and D.A. Christopher. 2009. Novel thigmomorphogenetic responses in *Carica papaya*: touch decreases anthocyanin levels and stimulates petiole cork outgrowths. Ann. Bot. 103:847-858.
- Rural Development Administration (RDA). 2012. Analysis standard for research in agricultural science and technology. p. 503-504 (in Korean).
- Rural Development Administration (RDA). 2016. Automatic seedling production system. RDA Interrobang. 166 (in Korean).
- Samimy, C. 1993. Physical impedance retards top growth of tomato transplants. HortScience 28:883-885.
- Sonneveld, C. and N. Straver. 1994. Nutrient solutions for vegetable and flowers grown in water or substrates. 8th ed. Proefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk. no. 8, Holland, p. 14-23.
- Suh, S.G. and H.D. Chung. 1986. Effect of paclobutrazol on growth and tolerance to chilling and drought stress in cucumber plant, *Cucumis sativus* L. Kor. J. Soc. Hortic. Sci. 27:111-118 (in Korean).
- Sun, E.S., H.M. Kang, Y.S. Kim, and I.S. Kim. 2009. Effect of diniconazol treatment on the inhibition of over-growth of tomato seedlings. Protected Hort. Plant Fac. 18:401-407 (in Korean).
- Sun, E.S., H.M. Kang, Y.S. Kim, and I.S. Kim. 2010. Effects of seed soaking treatment of diniconazole on the inhibition of stretching of tomato and cucumber seedlings. J. Bio- Environ. Con. 19:55-62 (in Korean).
- Yeoung, Y.R., C.S. Yoon, and B.S. Kim. 2005. Influence of fungicide diniconazole in chinese cabbage on leaf morphology and chlorophyll concentration. Kor. J. Soc. Hortic. Sci. 46:13-17 (in Korean).
- Yun, H.K., T.C. Seo, J.W. Lee, and E.Y. Yang. 2007. Effect of triazole growth regulator treatment on the growth of plug seedling and yield of tomato. J. Bio-Environ. Con. 16:205-209 (in Korean).
- Zhang, C.H., I.J. Chun, Y.C. Park, and I.S. Kim. 2003. Effect of timings and light intensities of supplemental red light on the growth characteristics of cucumber and tomato plug seedlings. J. Bio-Environ. Con. 12:173-179 (in Korean).