

브러싱 자극을 이용한 오이와 토마토 공정묘의 초장 억제

김현민¹ · 이해리¹ · 정현우¹ · 김혜민¹ · 황승재^{1,2,3,4*}

¹경상대학교 대학원 응용생명과학부, ²경상대학교 농업생명과학대학 농업식물과학과,

³경상대학교 농업생명과학연구원, ⁴경상대학교 생명과학연구원

Height Suppression of Cucumber and Tomato Plug Seedlings Using of Brushing Stimulus

Hyeon Min Kim¹, Hye Ri Lee¹, Hyeon Woo Jeong¹, Hye Min Kim¹, and Seung Jae Hwang^{1,2,3,4*}

¹Division of Applied Life Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²Department of Agricultural Plant Science, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁴Reserch Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract. This study aimed to evaluate the effect of height suppression of cucumber and tomato plug seedlings as affected by mechanical stimulus using brushing as environment-friendly method. Cucumber (*Cucumis sativus* L. 'Joeunbaekdadagi') and tomato (*Solanum lycopersicum* L. 'Mini Chal') seeds were sown in 40-cell plug trays (54 × 27.5 × 5 cm) filled with growing medium on Oct. 9, 2017. The cultivation environment in a venlo-type glass-house was maintained as cultivation temperature range of 15 - 25°C and the relative humidity of 50 ± 10%. Non-treatment and diniconazole (7.5 mg·L⁻¹) application at 15 days after sowing were used as the control. In addition, brushing treatments in cucumber and tomato were applied interval of 2, 4 or 6 hrs for 15 and 20 days, respectively. Plant height, hypocotyl length, and internode length were inhibited for cucumber and tomato in the diniconazole treatment than in the control. The leaf size was reduced, both cucumber and tomato, while the SPAD increased under the diniconazole treatment. However, stem diameter of cucumber was the thickest in the 2 hrs brushing interval treatment. Fresh weights of shoot and root were the significantly lowest in the diniconazole treatment. Application of brushing improved seedlings quality by promoting dry weights of shoot and root, and compactness of tomato seedlings. The chlorophyll fluorescence of tomato seedlings drastically decreased with 2 hrs treatment, indicating that mechanical stress by brushing treatment. The relative growth rate of tomato seedlings was significantly lower in the diniconazole treatment, but cucumber seedlings were not significantly different in all treatments. As a results, height suppression of cucumber and tomato seedlings was best achievement in the diniconazole treatment by the chemical as growth regulator. In an environment-friendly point of view, however, it is considered that 2 hrs brushing interval treatment can be the applicability for replacing the chemical methods in plug seedling growth of cucumber and tomato.

Additional key words : compactness, *Cucumis sativus*, mechanical stimulus, relative growth rate, *Solanum lycopersicum*

서 론

플러그 묘(plug seedlings)란 응집성이 있는 소량의 배지가 담긴 개개의 셀(cell)에서 길러진 묘종을 말한다(Nelson, 1991). 플러그 묘는 적은 면적에서 균일한 묘의 대량 생산과 관리 및 운반이나 취급의 편의성을 가지고 있으며(Moon 등, 2010), 1990년대 초반 국내에 공정육

묘 산업이 도입되기 시작하며 육묘와 재배의 전문화 및 분업화를 실현하였다(Jeong, 2002). 과채류 공정묘의 생산에 있어 양질의 묘란 굽은 경경, 짙은 녹색 잎, 그리고 잘 발달된 뿌리와 같은 형태적 특성을 나타낸다. 줄기가 도장되고 엷은 녹색 잎과 발달되지 못한 작은 뿌리를 가진 묘종은 정식 후 환경적 스트레스로 인해 수확량 감소의 결과를 초래할 수 있는 문제점이 발생한다(Seiler와 Johnson, 1988; Vu 등, 2015). 하지만 플러그 묘는 작은 셀 내에서 육묘되기 때문에 재식밀도가 높아 육묘기에 도장하기가 쉬우며, 이러한 과채류 작물 육묘의 도장 현상은 부적절한 수분 및 온도조절, 고온기 및

*Corresponding author: hsj@gnu.ac.kr

Received August 17, 2018; Revised September 11, 2018;

Accepted September 17, 2018

장마기간의 흐린 날씨에 의한 광 부족, 묘 간의 상호경합에 의해 일어난다(Sun 등, 2010). 양질묘의 판단 기준이 되는 도장하지 않은 묘를 생산하기 위해 국내의 많은 육묘장은 살균제로 등록된 트리아줄계 화합물을 이용하고 있는 실정이다. 트리아줄계 화합물은 생장억제제로서 화훼작물의 생육 및 개화조절에 이용되어져 왔으며(Choi 등, 2011; Kim과 Lee, 2015), 또한 최근에는 채소작물의 육묘기 도장억제(Sun 등, 2010; Kim 등, 2016) 및 스트레스 저항성 향상(Baninasab, 2009)을 위한 목적으로 이용되어 지고 있다. 그러나 작물별, 생육단계별 트리아줄계 화합물의 정확한 처리 농도, 방법, 조건 등이 구명되어 있지 않으며, 환경오염과 농산물 안전성에 대한 소비자들의 인식이 높아짐에 따라 일부 국가에서는 생장조절제의 사용을 규제하고 있는 추세이다.

생장조절제의 이용이 규제됨에 따라 과채류 작물 육묘 시 친환경적 도장 억제기술의 연구가 필요하며, 그 중 기계적 자극에 의한 식물의 생장 반응인 접촉형태형성(thigmomorphogenesis)과 관련된 연구가 필요한 실정이다(Jaffe, 1973). 식물체에 많은 종류의 비생물학적 스트레스가 기계적 자극에 속할 수 있으며 brushing(쓸기), rubbing(문질기), touching(접촉), wind(바람), impedance(압착) 등의 처리에 따른 짧은 초장, 굽은 경경, 엽록소 함량 변화 등의 식물 반응이 관찰되어 왔다(Baden과 Latimer, 1992; Samimy, 1993; Morel 등, 2012; Hernandez, 2016; Graham과 Wheeler, 2017). 국내에서는 주로 화훼류의 절간신장 억제를 위한 기계적 자극 처리 연구가 진행되었지만, 과채류 육묘 시 공정육묘장의 자동화 현장 적용을 위한 brushing 처리의 적정 강도, brushing 자재의 종류, brushing 처리 시기 등에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 오이와 토마토 육묘시 발생하는 도장현상을 억제하기 위해 친환경적 방법인 기계적 자극

중 brushing 처리를 이용한 묘의 도장억제 효과를 구명하여 고품질 묘의 안정적인 생산 및 현장 적용 가능성을 확인하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 재배환경

본 실험은 brushing 처리에 따른 과채류 플러그 묘의 도장억제에 미치는 영향을 알아보기 위해 국내 공정육묘장에서 생산되는 주요 과채류인 오이(*Cucumis sativus* L. 'Joeunbaekdadagi')와 토마토(*Solanum lycopersicum* L. 'Mini Chal')를 이용해 경상대학교 부속농장 벤로형 유리온실에서 수행하였다. 2017년 10월 9일에 상업적 공정육묘용 혼합상토(Tosilee, Shinan Grow Co. Ltd., Jinju, Korea)가 충전된 40공 플러그 트레이(54×27.5×5cm)에 1구당 1립씩 파종 하였다. 재배기간 동안 벤로형 유리온실의 온도는 15-25°C, 상대습도 50±10%로 조절하였다. 파종 후 본엽이 2-3매 전개되었을 때, 2017년 10월 24일부터 육묘 종료까지 brushing 처리를 진행하였다. 토마토와 오이 플러그 묘의 양수분 관리는 토마토 Sonneveld 전용 액비(EC 1.5dS·m⁻¹, pH 6.5)와 오이 PTG 전용 액비(EC 1.5dS·m⁻¹, pH 6.5)를 조제하여 2일 1회 저면관수 하였다(Sonneveld와 Straver, 1994).

2. 플러그 묘의 brushing 처리

오이와 토마토 플러그 묘의 brushing 처리를 위해 자동 타이머를 이용한 이송장치(240×120×80cm)를 제작하여 베드상부에 설치하였고, 묘와 brush와의 접촉지점의 높이를 임의로 조절할 수 있게 하였다(Fig. 1). 묘와 직접 닿는 접촉부에는 연질아크릴(FLO731A, Crenjoy Co. Ltd., Seoul, Korea)을 붙여 brushing 처리를 위해 사용

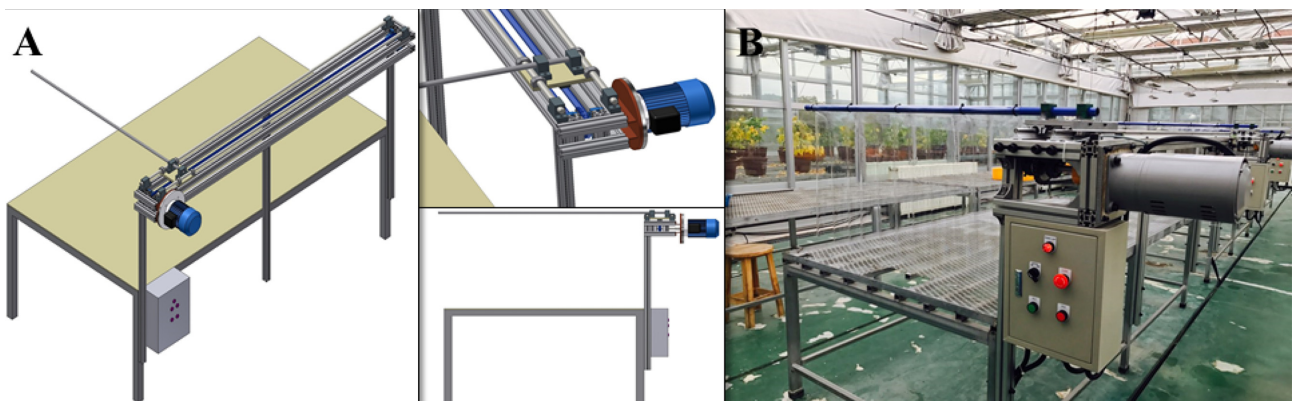


Fig. 1. Schematic diagram (A) and the surfacing feed installed (B) for testing the effect of the brushing intervals of mechanical stimulus.

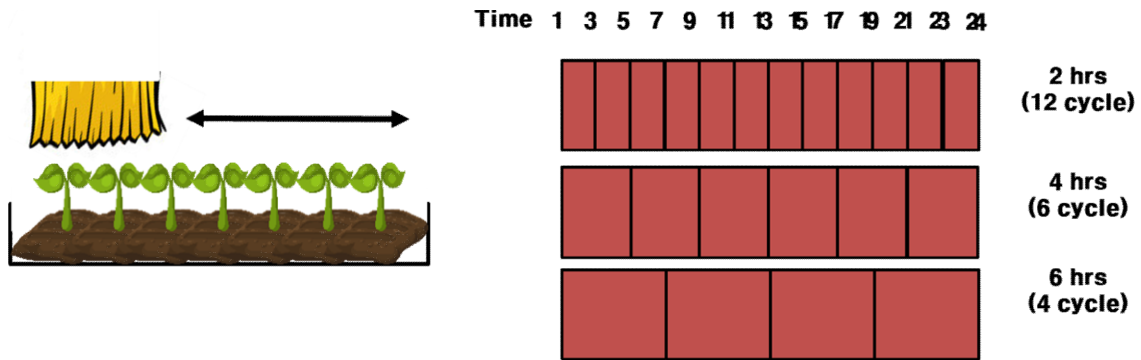


Fig. 2. Scheme of brushing intervals treatment of cucumber and tomato plug seedlings.

하였으며, 초당 0.2m의 속도로 24시간 연속 처리하였다. Brushing 처리를 하지 않은 무처리와 화학적 생장조절제와의 비교를 위한 3g·20L⁻¹(유효성분 기준 7.5mg·L⁻¹)의 빈나리(diniconazole 5%, Dongbangagro Co. Ltd., Seoul, Korea) 처리(Kim 등, 2016)를 대조구로 하였다. 또한, 오이와 토마토 묘의 brushing 처리는 00:00시부터 24:00시까지 하루 12cycle brushing(2 hrs), 하루 6cycle brushing(4 hrs), 하루 4cycle brushing(6 hrs)으로 각각 15일과 20일간 처리하였고, 1cycle 당 지름 25mm×길이 1,200mm 크기의 바(bar)에 가로 1,100mm×세로 750mm 규격의 연질아크릴을 세로방향으로 장착하여 폭 1,200mm×길이 2,400mm×높이 800mm의 베드에서 전후로 왕복하였다(Fig. 2).

3. 조사항목

플러그 묘의 생육 조사를 위해 오이는 파종 후 30일째, 토마토는 파종 후 35일째에 트레이 당 4주씩(총 12주)을 무작위로 선발하여 조사하였다. 플러그 묘의 초장, 하배축, 절간장, 엽장, 엽폭을 조사하였다. 또한, 묘의 경경은 버니어캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo Co. Ltd., Kawasaki, Japan)를 이용하여 지체부 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. Brushing 처리에 따른 묘의 스트레스 지수를 확인하기 위해 처리구별 6개체를 무작위로 선발하여 30분간 암적응 후 엽록소 형광분석기(PAM-2100, Heinz Walz GmbH Co. Ltd., Effeltrich, Germany)를 이

용하여 엽록소형광 값(Fv/Fm)을 측정하였다. 최소 형광 값(Fo)은 0.6kHz의 측정 광을 광섬유로 하여 0.1μmol·m⁻²·s⁻¹ 보다 낮은 광합성유효광양자속밀도(PPFD, photosynthetic photon flux density)로 적색 LED광을 이용하여 조사하고 측정하였으며, 최대 형광 값(Fm)은 20kHz로 7,000μmol·m⁻²·s⁻¹의 포화 광을 0.8초 동안 조사하여 측정하였다. Fv/Fm값은 Fv/Fm=(Fm-Fo)/Fm 공식으로 산출되었다(Genty 등, 1989). T/R율은 지상부의 건물중에 지하부의 건물중을 나누어 계산하였다. 묘의 충실도를 측정하기 위해 지상부의 건물중에 초장을 나누어 compactness를 계산하였으며, 왜화율(dwarf rate), 생장속도(CGR, crop growth rate), 상대생장률(RGR, relative growth rate), 엽면적률(LAR, leaf area rate)은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2012)을 기초로 하여 아래의 계산식에 의해 산출하였다.

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

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

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

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

- w₁, w₂: 시작 및 종료시점의 식물체당 건물중
- t₁, t₂: 시작 및 종료시점의 시간
- L: 식물체당 엽면적
- W: 총 건물중

4. 실험설계 및 통계분석

실험구의 배치는 brushing 처리에 따른 오이와 토마토 플러그 묘의 생육발달 구명을 위해 무처리와 diniconazole 7.5mg·L⁻¹ 처리, 3처리의 brushing 처리를 각 처리당 3반복, 그리고 반복당 40개체로 총 600주를 난괴법으로 배

치하였다. 실험결과의 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 평균 간 비교는 터키의 다중검정(Tukey's multiple range test)을 이용하여 5% 유의수준에서 각 처리간 유의성을 검증하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그램(Sigma Plot 12.0, Systat Software Inc., San Jose, Ca, USA)을 이용하여 나타냈다.

결과 및 고찰

파종 후 30일째 오이 플러그 묘와 35일째의 토마토 플러그 묘의 brushing 처리에 따른 생육 특성을 Table 1 과 2, Fig. 3과 4에 나타내었다. 오이와 토마토 플러그 묘의 초장, 하배축, 절간장, 엽장, 엽폭, 엽면적은 모두 brushing 처리 간격이 짧아질수록 감소하였고, 생장조절제 처리인 diniconazole에서 생육이 가장 억제되는 경향을 보였다. Diniconazole은 트리아졸계에 속하는 약제인 pyrimidine 유도체로써 식물체 내 지베렐린의 생합성을 억제하여 세포분열 능력을 저해하고 영양생장을 억제시킨다(Wample과 Culver, 1983; Eum 등, 2011). 본 연구의 무처리와 brushing 처리 대비 diniconazole 처리에서 생육이 억제된 결과는 식물체 내 지베렐린의 생합성이 원활히 이루어지지 않았기 때문으로 판단되며, 오이와 토마토의 diniconazole 종자 침지처리에 의한 절간신장

억제 결과와 유사한 경향을 보였다(Sun 등, 2010). Diniconazole 처리와 비교하여 brushing 처리에서는 2시간간격 처리에서 생육이 가장 억제되는 현상을 보였으며, brushing 처리 간격이 길어질수록 생육억제 효과가 미미해졌다. 이러한 결과는 식물체에 기계적 자극에 해당하는 brushing 처리가 토마토, 가지, 오이, 브로콜리 등의 줄기 길이를 감소시키는 기존 연구결과와 일치하는 경향을 보였다(Baden과 Latimer, 1992). 오이와 토마토 플러그 묘의 경경은 diniconazole 처리에서 유의적으로 낮은 결과를 나타냈고, 오이에서는 brushing 처리인 2시간간격 처리와 4시간간격 처리에서 diniconazole 처리 대비 54.8%, 48.4% 경경이 두꺼워졌다. 경경이 두꺼워지는 결과는 피망의 rubbing 처리를 통해 첫 번째 마디의 줄기 경경이 두꺼워지는 현상과(Graham과 Wheeler, 2017), 화훼작물인 장미에서 brushing 처리를 통해 경경이 두꺼워지는 결과와 유사하였다(Morel 등, 2012). Porter 등(2009)은 파파야 육묘시 rubbing 처리를 통해 대조구 대비 하배축의 경경을 36% 증가시키고 동시에 초장을 46%, 엽폭을 42% 감소시킨다고 보고하였다. 이러한 기계적 자극에 의한 식물체의 변화들은 접촉형태형성 반응의 복합적인 경화 또는 강화 반응이라고 보고되고 있다(Goodman과 Ennos, 2001). 오이와 토마토의 엽록소 농도를 나타내는 SPAD 값에서는 brushing 간격에 따른 상관관계는 없었으나 무처리와 비교하였을 시 높은

Table 1. Growth characteristics of cucumber plug seedlings as affected by brushing intervals for 30 days after sowing.

Treatment	Plant height (cm)	Hypocotyl length (cm)	Internode length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	SPAD	Leaf area (cm ² /plant)
Non-treatment	36.2 a ^z	12.6 a	9.0 a	11.2 a	13.6 a	4.2 b	33.0 c	225.3 a
Diniconazole	20.2 d	5.8 d	1.3 c	8.5 c	10.3 c	3.1 c	47.7 a	118.2 c
Brushing intervals	2 hrs	27.9 c	9.1 c	6.2 b	9.8 b	12.1 b	4.8 a	178.6 b
	4 hrs	29.7 c	10.0 bc	6.4 b	10.1 b	12.0 b	4.6 a	177.4 b
	6 hrs	32.6 b	11.2 ab	8.3 a	10.2 b	11.9 b	4.4 ab	190.5 b

^zMean separation within columns by Tukey's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 2. Growth characteristics of tomato plug seedlings as affected by brushing intervals for 35 days after sowing.

Treatment	Plant height (cm)	Hypocotyl length (cm)	Internode length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	SPAD	Leaf area (cm ² /plant)
Non-treatment	49.7 a ^z	6.0 a	12.3 a	6.8 a	4.6 a	4.5 a	32.7 d	167.4 a
Diniconazole	31.6 d	4.6 c	6.1 c	5.4 c	3.6 c	4.1 b	41.2 a	106.2 c
Brushing intervals	2 hrs	33.4 d	5.4 ab	7.1 c	6.5 ab	4.2 b	4.6 a	139.6 b
	4 hrs	36.6 c	5.3 b	7.8 bc	6.3 b	4.1 b	4.6 a	143.6 b
	6 hrs	40.2 b	6.0 a	9.2 b	6.5 ab	4.4 ab	4.8 a	149.3 b

^zMean separation within columns by Tukey's multiple range test at $p \leq 0.05$.

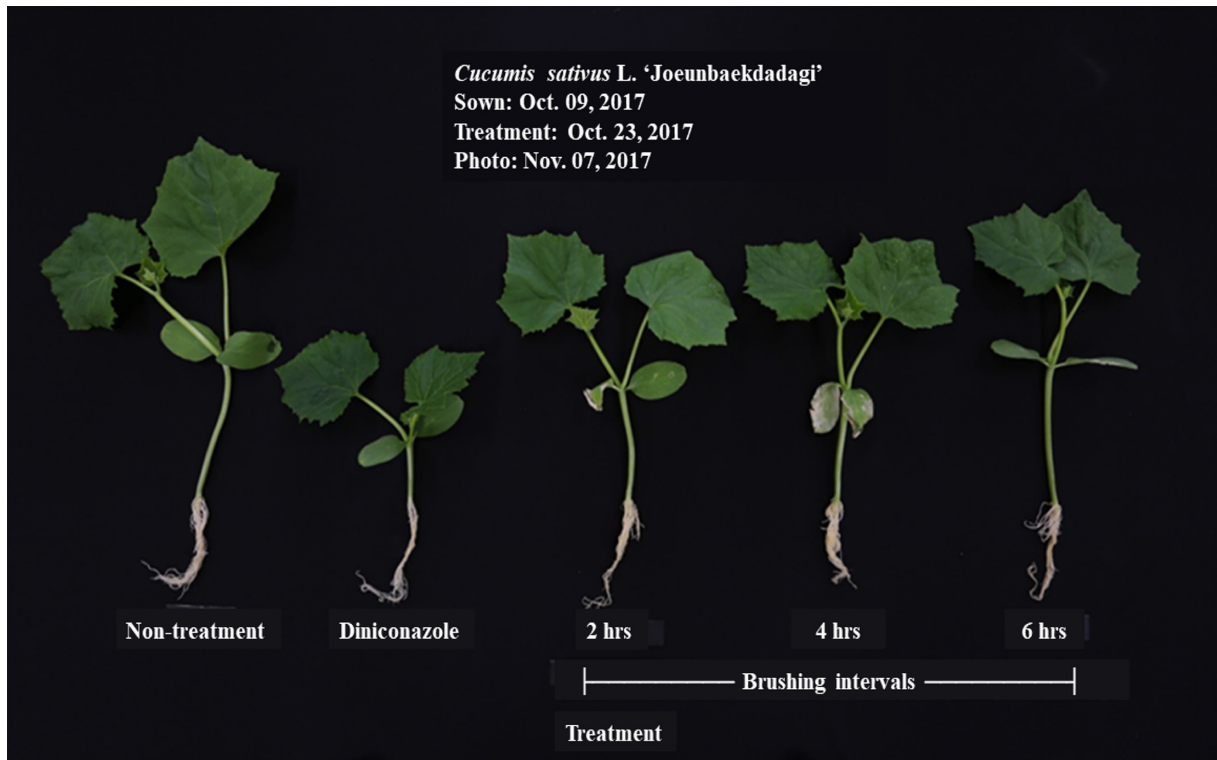


Fig. 3. Photo of cucumber plug seedlings as affected by brushing intervals for 30 days after sowing.



Fig. 4. Photo of tomato plug seedlings as affected by brushing intervals for 35 days after sowing.

Table 3. Fresh and dry weights of shoot and root, T/R ratio, compactness, and dwarf rate of cucumber plug seedlings as affected by brushing intervals for 30 days after sowing.

Treatment	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)		T/R ratio	Compactness ^z (mg·cm ⁻¹)	Dwarf rate (%)	
	Shoot	Root	Shoot	Root				
Non-treatment	10.26 a ^y	1.43 a	0.69 a	0.057 a	12.2 a	18.9 a	0.0 d	
Diniconazole	5.98 c	1.10 b	0.42 c	0.036 b	11.6 a	20.8 a	43.9 a	
Brushing intervals	2 hrs	8.00 b	1.20 ab	0.55 b	0.046 ab	12.4 a	20.1 a	23.0 b
	4 hrs	8.12 b	1.25 ab	0.56 b	0.049 a	11.5 a	18.8 a	17.9 b
	6 hrs	9.24 ab	1.24 ab	0.61 ab	0.052 a	12.0 a	18.9 a	9.5 c

^zCompactness is the values of the dry weight divided by the plant height.

^yMean separation within columns by Tukey's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 4. Fresh and dry weights of shoot and root, T/R ratio, compactness, and dwarf rate of tomato plug seedlings as affected by brushing intervals for 35 days after sowing.

Treatment	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)		T/R ratio	Compactness ^z (mg·cm ⁻¹)	Dwarf rate (%)	
	Shoot	Root	Shoot	Root				
Non-treatment	8.4 a ^y	1.09 a	0.60 a	0.076 ab	8.1 a	12.0 b	0.0 d	
Diniconazole	5.6 d	0.81 b	0.42 c	0.054 c	8.1 a	13.4 b	36.2 a	
Brushing intervals	2 hrs	6.5 c	1.05 a	0.52 ab	0.077 a	6.8 a	15.6 a	32.5 ab
	4 hrs	6.7 bc	0.80 b	0.48 bc	0.064 bc	7.6 a	13.1 b	26.2 b
	6 hrs	7.2 b	0.79 b	0.50 b	0.061 c	8.4 a	12.6 b	19.0 c

^zCompactness is the values of the dry weight divided by the plant height.

^yMean separation within columns by Tukey's multiple range test at $p \leq 0.05$.

결과를 보였고, diniconazole 처리 보다는 낮은 값을 보였다. 이러한 결과는, Ahmad 등(2015)의 연구에서 트리이졸계인 paclobutrazol의 농도가 높아질수록 분화식물인 페튜니아와 쿠페아의 영양생장 감소로 인해 엽색이 짙은 녹색으로 바뀌었다고 보고된 결과와 유사한 경향을 보였다. 본 연구의 결과 또한 diniconazole 처리로 인해 SPAD 값이 높아진 것은 엽장, 엽폭, 엽면적 등이 다른 처리구에 비해 유의적으로 생육이 저조하여 엽색이 짙어진 것으로 판단된다. 오이와 토마토 묘의 엽면적은 생육이 억제될수록 감소하였으며, 특히 diniconazole 처리에서 유의적으로 낮았다. 이는 과채류 작물인 토마토와 딸기에 트리이졸계에 속하는 diniconazole과 paclobutrazol을 처리하였을 때, 대조구 대비 엽면적이 감소하는 기존 연구결과와 일치하는 경향을 보였다(Strang과 Weis, 1984; Yun 등, 2007).

오이와 토마토의 지상부와 지하부의 생체중 및 건물중은 생육이 저조하였던 diniconazole 처리에서 유의적으로 낮은 결과를 나타냈다(Table 3과 4). 오이 플러그 묘에서는 brushing의 간격이 길어질수록 지상부와 지하부의 생체중 및 건물중이 증가하는 경향을 보였지만, 토마토의 지하부 생체중 및 건물중에서 반대의 결과를 나타내며 2시간간격 처리에서 유의적으로 높은 결과를 보였다. 일반적으로 식물체에 brushing 자극은 토마토와 수박, 가

지 작물의 지상부 건물중을 감소한다고 보고하였고(Latimer와 Oetting, 1994), shaking 처리로 인해 벼의 총 biomass가 감소되는 결과가 보고되었다(Wang 등, 2011). 하지만 본 연구의 토마토 작물의 뿌리, 즉 지하부의 생체중과 건물중이 brushing 자극으로 인해 증가되었고, 식물체에 기계적 자극이 동화산물의 분배에 영향을 끼쳤다고 판단된다. 과채류 플러그 묘의 품질을 나타내는 지상부와 지하부의 건물중 비율인 T/R율과 전체 건물중에 지상부의 초장을 나타내는 값을 충실도로 표현하는데, T/R율이 낮을수록 그리고 충실도가 높을수록 묘 품질이 우수하다고 보고되고 있다(Zhang 등, 2003; Lee 등, 2016). 오이와 토마토의 T/R율은 모든 처리구에서 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 토마토의 충실도는 2시간간격 처리에서 15.6mg·cm⁻¹으로 무처리와 diniconazole 처리에 비해 30.0%, 16.4% 향상되었다. 또한, 오이와 토마토의 왜화율은 생육이 가장 저조하였던 diniconazole 처리에서 가장 높았으며, 토마토의 2시간간격 처리에서 diniconazole과 유사하게 32.5%의 생육이 억제되는 것을 보였고, 기계적 자극인 brushing은 오이보다는 토마토의 육묘에 조금 더 효과적인 것으로 판단된다.

식물체의 스트레스 지표로 사용되는 엽록소형광 값(Fv/Fm)은 0.8-0.84의 수치를 나타낼 때, 식물체가 정상

Table 5. Chlorophyll fluorescence and analysis of growth parameters of cucumber plug seedlings as affected by brushing intervals for 30 days after sowing.

Treatment	Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm)	Growth parameters ²		
		CGR (g ⁻¹ ·m ⁻² ·d ⁻¹)	RGR (g ⁻¹ ·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	LAR (cm ² ·g ⁻¹)
Non-treatment	0.774 ab ³	0.0311 a	0.0485 a	258.2 a
Diniconazole	0.794 a	0.0226 b	0.0479 a	240.3 a
Brushing intervals	2 hrs	0.745 b	0.0288 ab	0.0483 a
	4 hrs	0.743 b	0.0260 ab	0.0481 a
	6 hrs	0.752 b	0.0270 ab	0.0482 a

²CGR, crop growth rate; RGR, relative growth rate; and LAR, leaf area rate.

³Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 6. Chlorophyll fluorescence and analysis of growth parameters of tomato plug seedlings as affected by brushing intervals for 35 days after sowing.

Treatment	Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm)	Growth parameters ²		
		CGR (g ⁻¹ ·m ⁻² ·d ⁻¹)	RGR (g ⁻¹ ·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	LAR (cm ² ·g ⁻¹)
Non-treatment	0.783 ab ³	0.0479 a	0.0648 a	299.1 a
Diniconazole	0.801 a	0.0296 b	0.0638 b	258.1 a
Brushing intervals	2 hrs	0.757 b	0.0382 ab	0.0647 ab
	4 hrs	0.766 ab	0.0382 ab	0.0644 ab
	6 hrs	0.767 ab	0.0438 a	0.0647 ab

²CGR, crop growth rate; RGR, relative growth rate; and LAR, leaf area rate.

³Mean separation within columns by Tukey's multiple range test at $p \leq 0.05$.

적인 환경에 노출되었다고 본다(Baker와 Rosenqvist, 2004). 본 연구의 오이 묘에서 모든 brushing 처리에서 0.743-0.752의 값으로 식물체가 기계적 자극에 의해 스트레스를 받는 것으로 판단되며, 토마토 묘에서는 2시간 간격 처리에서 0.757의 유의적으로 낮은 값을 나타내었다(Table 5와 6). 식물체가 기계적 자극의 스트레스 환경에 노출됨으로써 오이와 토마토의 생육특성인 초장, 하배축, 절간장, 엽면적 등의 영양생장이 무처리와 비교하여 감소된 것으로 판단된다(Table 1과 2). 오이와 토마토 묘의 생육이 억제되지 않을수록 성장속도는 높은 경향을 보였으며, 특히 diniconazole 처리구에서 오이와 토마토 묘가 0.0226, 0.0296g⁻¹·m⁻²·d⁻¹로 유의성 있게 낮았다. 일정시간의 작물 건물증가율을 나타내는 상대생장률의 분석결과 오이는 모든 처리구에서 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 토마토에서 성장속도와 유사한 결과를 보이며 diniconazole 처리에서 0.0638g⁻¹·g⁻¹·d⁻¹로 유의성 있게 가장 낮았다. 식물체의 광합성 및 생체중의 감소, 뿌리활력과 양분흡수가 원활히 이루어지지 않을 때 상대생장률의 감소를 초래한다(Nkansah와 Ito, 1994; Song 등, 2010). 성장조절제인 diniconazole에 의해 토마토 묘 체내의 지베렐린 생합성의 억제 및 영양생장의 저하, 지상

부와 지하부의 생체중 및 건물중의 감소로 인해 상대생장률이 감소한 것으로 판단된다. 엽면적률은 작물에 상관없이 모든 처리구에서 유의적인 차이를 보이지 않았지만, diniconazole 처리에서 엽면적 대비 건물생산물량이 높았고, brushing 처리 간격에 따른 상관관계는 나타나지 않았다.

이상의 결과들을 종합하면, 성장조절제인 diniconazole 처리구에서 오이와 토마토 플러그 묘의 생육 및 도장 억제에는 가장 효과적이었다. 하지만 2019년 1월 1일부터 모든 농산물에 확대 적용되어 시행되는 농약허용물질 관리제도(PLS, positive list system)에 대응하기 위한 과채류 육묘시 도장 억제를 위한 친환경적 방법의 현장적용을 위한 실용화 연구가 시급하다. 본 연구의 하루 2시간 간격의 brushing 처리는 diniconazole의 생육 억제와 유사한 수준을 보여주었으며, 특히 토마토 묘의 충실도를 높이는 결과를 보였다. 따라서 고품질의 우량한 오이와 토마토 플러그 묘 생산을 위한 brushing 자극은 공정 육묘장에서의 현장 적용 가능성이 충분하다고 판단되지만, 기계적 스트레스(brushing 처리)를 위한 초기 시설투자가 관건이다. 향후 brushing의 강도, 적용방법, 묘와 직접 맞닿는 필름의 재질 등에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 환경 친화적 방법인 브러싱을 이용한 기계적 자극의 영향을 받는 오이와 토마토 플러그 묘의 생육 억제 효과를 구명하기 위해 수행되었다. 오이 (*Cucumis sativus* L. 'Joeunbaekdadagi')와 토마토 (*Solanum lycopersicum* L. 'Mini Chal')를 2017년 10월 9일 상업용 혼합 상토가 충전된 40구 플러그 트레이 (54×27.5×5cm)에 파종하였다. 벤로형 유리온실의 재배환경은 15-25°C의 재배 온도 범위와 50±10%의 상대습도를 유지하였다. 파종 15일후에, 오이와 토마토 묘에 무처리(대조구), 7.5mg·L⁻¹의 diniconazole을 처리하였다. 또한, 오이와 토마토의 brushing 처리는 2, 4, 또는 6시간 간격으로 각각 15일과 20일간 적용되었다. 1회씩 brushing 처리를 하였다. 오이와 토마토의 초장, 하베축, 절간장은 대조구에 비해 diniconazole 처리에서 억제되었다. 잎의 크기는 오이와 토마토 모두 감소하였지만, 반면에 엽록소 값은 diniconazole 처리에서 증가하였다. 그러나 오이의 경경은 2시간 brushing 간격 처리에서 가장 두꺼웠다. 지상부와 지하부의 생체중은 diniconazole 처리에서 유의적으로 낮았다. Brushing의 적용은 토마토 묘의 지상부와 지하부의 건물중, 충실도를 촉진시킴으로써 묘소질을 향상 시켰다. 토마토 묘의 엽록소 형광은 2시간 처리에서 급격히 감소하였으며, 이는 brushing 처리에 의한 기계적 스트레스를 나타낸다. 토마토 묘의 상대생장률은 diniconazole 처리에서 유의적으로 낮았지만, 오이 묘는 모든 처리에서 유의적인 차이가 없었다. 결과적으로, 오이와 토마토 묘의 생육 억제는 성장조절제의 화학 물질에 의한 diniconazole 처리에서 가장 효과적이었다. 그러나 환경 친화적인 관점에서, 2시간의 brushing 간격 처리는 오이와 토마토 묘의 생장에서 화학적 방법을 대체할 수 있는 응용 가능성을 가지고 있다고 판단된다.

추가 주제어 : 기계적 자극, 상대생장률, 충실도, *Cucumis sativus*, *Solanum lycopersicum*

사 사

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

Literature cited

Ahmad, I., J.M. Dole, and B.E. Whipker. 2015. Paclobutrazol or uniconazole effects on ethylene sensitivity of potted ornamental plants and plugs. *Scientia Horticulturae* 192:350-356.

- Baden, S.A., and J.G. Latimer. 1992. An effective system for brushing vegetable transplants for height control. *HortTechnology* 2:412-414.
- Baker, N.R., and E. Rosenqvist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *J. Exp. Bot.* 55:1607-1621.
- Baninasab, B. 2009. Amelioration of chilling stress by paclobutrazol in watermelon seedlings. *Scientia Horticulturae* 121:144-148.
- Choi, S.H., J.S. Kang, Y.W. Choi, Y.J. Lee, Y.H. Park, M.R. Kim, B.G. Son, H.K. Kim, H.Y. Kim, W. Oh, H.B. Sim, K.B. Lim, and J.K. Kim. 2011. Effect of diniconazole on growth and flowering of *Vinca rocea* and *Salvia splendens*. *J. Life Sci.* 21:1004-1008 (in Korean).
- Eum, S.J., K.I. Park, I.J. Lee, Y.J. Choi, W. Oh, and K.W. Kim. 2011. Effects of foliar-sprayed diniconazole on contents of endogenous gibberellic acids and abscisic acid in *Lilium davuricum*. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 29:165-171 (in Korean).
- Genty, B., J.M. Briantais, and N.R. Baker. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim. Biophys. Acta* 990:87-92.
- 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. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 20:197-204 (in Korean).
- Kim, H.C., Y.H. Cho, Y.G. Ku, S.J. Hwang, and J.H. Bae. 2016. Growth characteristics of grafted tomato seedlings following treatment with various concentrations of diniconazole during the summer growth season. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 34:249-256 (in Korean).
- Kim, Y.H., and I.J. Lee. 2015. Identification of appropriate plant growth retardant to suppress poinsettia growth. *Flower Res. J.* 23:63-71 (in Korean).
- Latimer, J.G., and R.D. Oetting. 1994. Brushing reduces thrips and aphid populations on some greenhouse-grown vegetable transplants. *HortScience* 29:1279-1281.

- 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).
- Moon, J.H., Y.A. Jang, H.K. Yun, S.G. Lee, and J.W. Lee. 2010. Determination of salt type, salt concentration, and salt application method and timing for suppression of stem elongation in grafted cucumber seedlings. *J. Bio-Environ. Control* 19:317-323 (in Korean).
- Morel, P., L. Crespel, G. Galopin, and B. Moulia. 2012. Effect of mechanical stimulation on the growth and branching of garden rose. *Scientia Horticulturae* 135:59-64.
- Nelson, P.V. 1991. *Greenhouse operation and management*. 4th Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Nkansah, G.O., and T. Ito. 1994. Comparative studies on growth and development of heat-tolerant and non heat-tolerant tomato plants grown at different root-zone temperatures. *J. Japan Soc. Hortic. Sci.* 62:775-780.
- 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. *Annals of Bot.* 103:847-858.
- Rural Development Administration (RDA). 2012. Analysis standard for research in agricultural science and technology. pp. 503-504 (in Korean).
- Samimy, C. 1993. Physical impedance retards top growth of tomato transplants. *HortScience* 28:883-885.
- Seiler, J.R., and J.D. Johnson. 1988. Physiological and morphological responses of three half-sib families of loblolly pine to water-stress conditioning. *Forest Sci.* 34:487-495.
- Song, L., W.S. Chow, L. Sun, C. Li, and C. Peng. 2010. Acclimation of photosystem II to high temperature in two *Wedelia* species from different geographical origins: implications for biological invasions upon global warming. *J. Exp. Bot.* 61:4087-4096.
- 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, pp. 14-23.
- Strang, E.J., and G.G. Weis. 1984. Influence of paclobutrazol plant growth regulator on strawberry plant growth, fruiting, and runner suppression. *HortScience* 19:643-645.
- Sun, E.S., H.M. Kang, Y.S. Kim, and I.S. Kim. 2010. Effects of seed soaking treatment of diniconazol on the inhibition of stretching of tomato and cucumber seedlings. *J. Bio-Environ. Control* 19:55-62 (in Korean).
- Vu, N.T., H.M. Kang, Y.S. Kim, K.Y. Choi, and I.S. Kim. 2015. Growth, physiology, and abiotic stress response to abscisic acid in tomato seedlings. *Hort. Environ. Biotechnol.* 56:294-304.
- Wample, R.L., and E.B. Culver. 1983. The influence of paclobutrazol, a new growth regulator, on sunflowers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:122-125.
- Wang, Y.H., M. Dong, F.H. Yu, H. Jiang, S.Q. Yu, X.Q. Lin, and W.M. He. 2011. Mechanical shaking and soil water affect the growth of *Psammochloa villosa* in the Mu Us Sandland. *J. Arid Environ.* 75:974-977.
- 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).