

브러싱 자극 토마토 공정묘의 지상부와 지하부 생육 변화

정현우¹ · 황희성² · 황승재^{3,4,5*}

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 전문연구원, ²경상국립대학교 대학원 작물생산과학부 대학원생, ³경상국립대학교 농업생명과학대학 원예과학부 교수, ⁴경상국립대학교 농업생명과학연구원 교수, ⁵경상국립대학교 생명과학연구원 교수

Changes in Shoot and Root Growth of Tomato Seedlings Stimulated by Brushing

Hyeon Woo Jeong¹, Hee Sung Hwang², and Seung Jae Hwang^{3,4,5*}

¹RDA Research Associate, Protected Horticulture Researcher Institute, NIHHS, Haman 52054, Korea

²Graduate Student, Division of Crop Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Professor, Division of Horticultural Science, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁴Professor, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁵Professor, Research Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract. Mechanical stimulation induce the morphological changes in plants. In this study, we investigated the growth changes of tomato seedlings applicated to mechanical stimulation. The brushing treatment was used for mechanical stimulation. The brushing treatment interval was 2 hr using transfer device attached acrylic film from 10 days after sowing. Growth parameter of tomato seedlings were measured 3-day intervals to investigate the growth changes during brushing treatment. The plant height and leaf area were decreased in brushing treatment than the control, and the fresh and dry weights of shoot didn't have significant difference in the control and brushing treatment. The total root length and root surface area were increased in brushing treatment compared than the control, and root volume has no significant difference in the control and brushing treatment. In conclusion, these results suggest that the application of brushing treatment on tomato seedling make shorten plant height and well-development root morphological characteristics.

Additional key words: leaf area, mechanical stimulation, morphological changes, root surface, total root length

서 론

공정묘 생산 시 균일한 품질의 묘를 생산하는 것은 중요하며, 특히 다양한 생산 공정을 거치는 과채류 공정묘 생산과정에서 적절한 크기와 균일도를 확보하는 것을 핵심 사항으로 고려한다(Kwack과 An, 2021). 과채류 접목묘 생산 시 균일한 묘소질의 접수와 대목을 이용하는 것은 접목의 성공에 관여하는 요인이 될 수 있다(Kim과 Hwang, 2015). 공정묘의 묘소질을 판단하는 요소로 굵은 줄기, 짙은 잎, 그리고 잘 발달된 뿌리 등이며, 공정묘를 이용하는 농가에서는 주로 지하부가 잘 발달된 묘를 선호한다. 따라서 많은 공정묘묘장에서는 묘의

생육과 품질을 조절하기 위해 다양한 방법을 이용하게 된다.

대부분의 공정묘묘장에서는 묘의 생육조절을 위해 트리아졸계 화합물인 화학적 생장억제제를 이용하고 있다(Kim 등, 1998; Bae, 1999; Yun 등, 2007; Sun 등, 2010). 하지만 생장조절제 사용 시 환경오염에 대한 염려로 인해 농업에 이용되는 생장조절물질 이용에 대한 규제가 증가하고 있어 생장조절제를 대체하는 생육조절 기술이 필요하다.

기계적 자극(mechanical stimulation, MS)은 식물에 직접적 혹은 간접적인 접촉을 이용하여 비생물학적 스트레스를 발생시키며 이로 인해 식물의 초장 감소, 경경 증가 등의 형태적인 변화를 유도한다(Jaffe, 1973). 기계적 자극에 의한 식물의 형태적인 변화는 접촉형태형성(thigmomorphogenesis)이라는 용어로 정의가 된 바 있다(Jaffe, 1973; Mitchell, 1996; Börnke와 Rochksch, 2018). 기계적 자극에 대한 식물의 반응은 주로 지상부의 변화에 초점이 맞추어져 있었지만 이전의

*Corresponding author: hsj@gnu.ac.kr

Received September 30, 2022; Revised June 12, 2023;

Accepted June 20, 2023

연구에서 기계적 자극에 노출된 식물의 지하부 생육이 증가한다는 보고가 된 바 있다(Liu 등, 2007; Sarmast 등, 2014). 또한 많은 기계적 자극의 연구에서는 단기간 혹은 장기간 자극 처리 이후 식물의 생육 변화에 초점을 맞추어져 있으며, 자극을 적용하는 동안의 지상부와 지하부의 생육 변화에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기계적 자극 중 하나인 브러싱 처리를 이용하여 육묘기 동안 토마토 공정묘의 지상부와 지하부 생육 변화를 확인하였다.

재료 및 방법

1. 재배환경 및 브러싱 처리

2022년 3월 29일에 토마토(*Solanum lycopersicum* L. 'Dotaerang Dia', Koregon Co., Ltd., Anseong, Korea) 종자를 상업적 공정육묘용 상토(Tosilee, Shinan Grow Co., Ltd., Jinju, Korea)가 충전된 40구 트레이(54×27.5×5cm, Bumnong Co., Ltd., Jeongeup, Korea)에 1구당 1립씩 파종하였다. 실험은 경상국립대학교 부속농장 벤토형 유리온실에서 자연광 조건에서 진행되었다. 파종 후 10일째 본엽이 완전히 전개되었



Fig. 1. The automated brushing machine used in the experiment.

Table 1. Composition of the nutrient solution used in the experiment.

Chemical	Concentration (mg·L ⁻¹)	Chemical	Concentration (mg·L ⁻¹)
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	472.0	Fe-EDTA	15.00
KNO ₃	202.0	H ₃ BO ₃	1.40
KH ₂ PO ₄	272.0	CuSO ₄ ·5H ₂ O	2.10
MgSO ₄ ·7H ₂ O	80.0	MnSO ₄ ·5H ₂ O	0.20
NH ₄ NO ₃	246.0	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.80
		Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.10

던 4월 8일(파종 후 10일)부터 연질 아크릴(acrylic, 두께 1mm, 단위면적당 중량 1.13kg·m²)이 부착된 자동 이송장치(240×120×80cm)를 이용하여 기계적 자극 처리를 진행하였으며(Fig. 1), 기계적 자극 처리(이하 브러싱 처리)는 초당 0.2m의 속도로 2시간 간격(1일 12회)으로 브러싱 처리를 하였다(Kim 등, 2018; Jeong 등, 2020). 육묘기간 동안 묘의 양수분 공급은 온실 다용도 액비를 조절하여 pH 6.5와 EC 1.5dS·m⁻¹로 조정된 양액을 2일 간격으로 1회 저면관수하였다(Table 1).

2. 생육 조사

육묘기간 동안 생육 변화를 조사하기 위해 식물체의 초장, 엽면적, 지상부의 생체중과 건물중, 그리고 지하부의 건물중을 측정하였다. 초장은 지체부에서 식물체의 생장점까지의 높이를 측정하였으며, 엽면적은 엽면적 측정기(Li-3000, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)를 이용하여 측정하였다. 지상부의 생체중은 전자저울(EW220-3NM, Kern&Sohn GmbH., Balingen, Germany)을 이용하여 측정하였고 지상부와 지하부의 건물중은 70°C 항온 건조기(Venticell-222, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH., Planegg, Germany)에서 72시간 건조 후 측정하였다. 지하부의 형태적 특성 분석은 WinRhizo Pro 2007a 형태분석시스템(Regent Instruments Inc., Sainte-Foy, QC, Canada)을 이용하여 총 근장, 지하부 표면적, 지하부 부피를 측정하였다. 상대적 초장(Sparke 등, 2022)과 T/R 률은 아래의 계산식을 이용하여 산출하였다.

상대적 초장 = 브러싱 처리구의 초장/대조구의 초장

T/R 률(T/R ratio) = 지상부의 건물중(g)/지하부의 건물중(g)

3. 실험설계 및 통계분석

실험구의 배치는 대조구와 브러싱 처리구의 토마토 공정묘의 생육을 비교하기 위해 무처리와 브러싱 처리를 각 3반복 반복당 40개체를 난괴법으로 배치하였으며, 생육 조사에는 6개

체를 이용하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그램(SigmaPlot 14.5, Systat Software, Inc., San Jose, CA, USA)을 이용하여 나타냈다.

결과 및 고찰

상대적 초장은 처리 시작 후부터 지속적으로 감소하였으며, 파종 후 30일째(처리 20일) 다시 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 상대적 초장은 브러싱 처리구의 초장을 대조구의 초장으로 나눈 값으로 값이 1에 가까울수록 초장의 차이가 없는 것을 나타내며 본 연구의 결과에서는 모든 조사 시기에 상대적 초장이 1보다 낮아 브러싱 처리구의 초장이 감소한 것을 확인할 수 있었다. 식물이 기계적 자극에 노출되면 형태적 변화를 나타내며 주로 초장의 감소, 경경의 증가 등으로 나타난다(Jaffe, 1976). Sparke 등(2022)은 $17.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 풍속으로 하루 8, 24, 40, 56, 72, 80회 처리하였을 때 토마토의 상대적 초장의 값이 0.7에서 0.84 사이로 유의적 차이 없이 나타난다고 보고하였다. 본 연구에서는 상대적 초장은 파종 후 28일째(처리 후 18일) 0.82로 가장 낮은 값을 보였다.

파종 후 30일째(처리 후 20일)의 초장은 대조구와 브러싱 처리구에서 각각 19.17cm와 17.05cm로 처리구에서 초장이 11% 억제되는 경향을 보였으며(Fig. 3A), 엽면적 또한 대조구와 브러싱 처리구에서 각각 60.25cm^2 와 56.6cm^2 로 처리구에서 엽면적이 7% 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3B). 지상부의 생체중과 건물중은 실험 기간 동안 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Fig. 3C와 3D). 기계적 자극에 의한 식물체의 지상부 변화는 많은 연구에서 보고된 바 있다. Jedrzejuk 등(2020)은 페튜니아에 브러싱 처리를 하였을 때 초장이 감소한

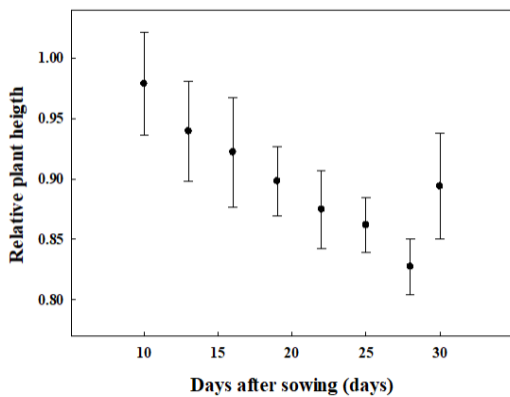


Fig. 2. The changes in relative plant height of tomato seedlings between the control and brushing treatments during experiment period (n = 6). The brushing treatment was started at 10 days after sowing and finished at 30 days after sowing.

다고 보고하였으며, Porter 등(2009)은 파파야 육묘기에 기계적 자극의 처리가 초장의 감소를 유도한다고 보고하였다. 또한 Morel 등(2012)은 장미의 브러싱 처리가 초장을 감소시킨다고 보고하였다. 브러싱 처리기간 동안 토마토 공정묘의 지상부 생육 변화는 시간에 따라 증가하는 선형 지수적 양상을 보였지만 sigmoid 형태를 나타내지는 않았다. 이는 과채류의 육묘기 생산시기가 짧고 성장속도가 빨라 나타난 결과로 판단된다. 기존의 연구에는 대부분 장기간 동안 기계적 자극 처리 이후 작물의 생육만 제시하였지만 본 연구에서는 토마토 묘의 초장 변화가 나타나는 시점이 파종 후 16일째(처리 후 6일)부터 차이가 나타나는 것을 확인하였다(Fig. 3A).

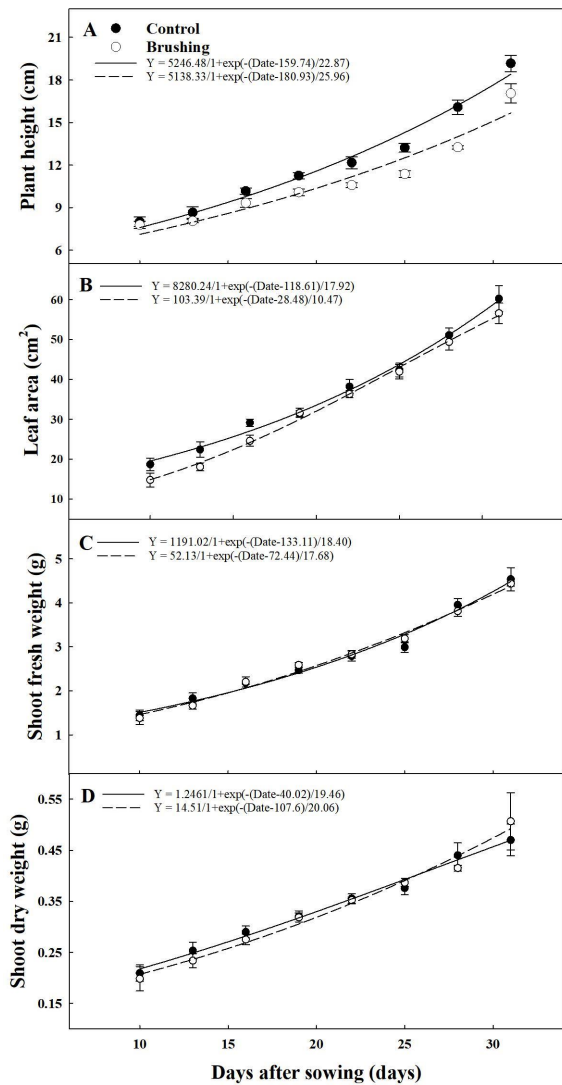


Fig. 3. The changes in plant height (A), leaf area (B), shoot fresh weight (C), and shoot dry weight (D) of tomato seedlings in control and brushing treatment (n = 6). The brushing treatment was started at 10 days after sowing and finished at 30 days after sowing.

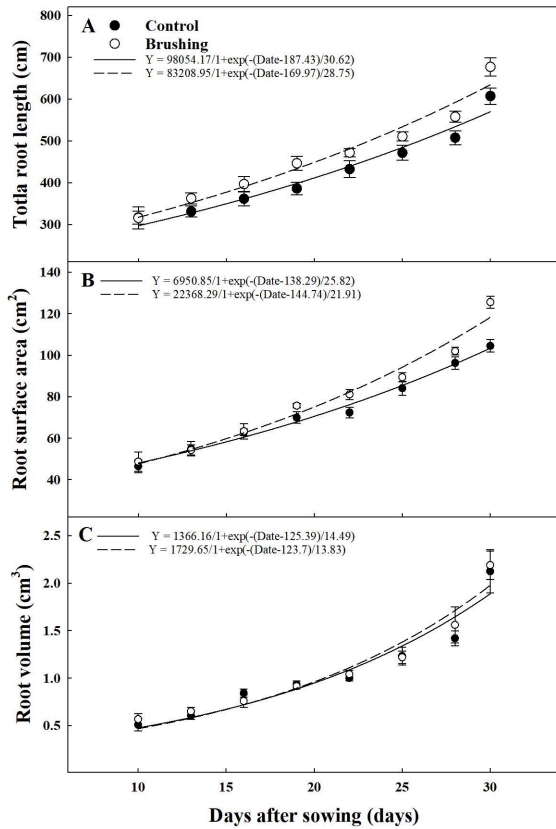


Fig. 4. The changes in total root length (A), root surface area (B), and root volume (C) of tomato seedlings in control and brushing treatment (n = 6). The brushing treatment was started at 10 days after sowing and finished at 30 days after sowing.

토마토 공정묘의 지하부의 형태적 변화는 브러싱 처리에서 더욱 발달하는 경향을 보였다(Fig. 4). 파종 13일 이후(처리 후 3일) 총 근장은 대조구에서 331.43cm와 브러싱 처리에서 362.62cm로 브러싱 처리에서 9% 증가하였으며, 지하부 표면적은 파종 19일(처리 후 9일) 이후 대조구에서 69.90cm²와 브러싱 처리에서 75.63cm²로 8% 증가하였다. 지하부 부피는 대조구와 브러싱 처리 모두 유사하게 증가하였다. 기계적 자극의 처리에 대한 식물체의 형태적 반응에 관한 연구는 지상부에 초점을 맞춘 연구가 대부분이어서 지하부 변화에 관한 정보가 부족하다. Liu 등(2007)의 연구에서는 브러싱 처리가 락지나물(*Potentilla reptans* L.)의 지하부 생체중을 증가시킨다고 보고하였지만, Graham과 Wheeler(2017)는 왜성 파프리카에서 문지르기(rubbing) 처리가 지하부 건물중을 감소시킨다고 보고하였다. 기계적 자극에 대한 식물의 반응은 자극의 적용 방법과 식물의 품종에 따라 다양하게 나타난다. 본 연구에서는 브러싱 처리를 적용한 토마토 공정묘의 지하부의 형태적 발달이 우수하게 나타났다.

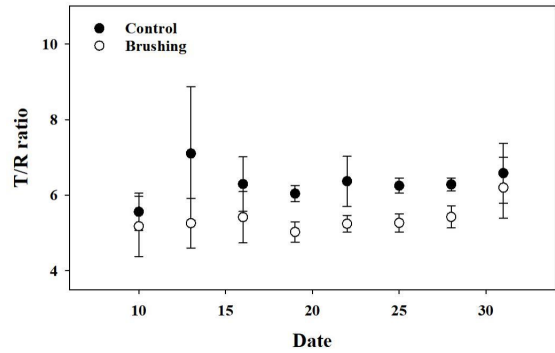


Fig. 5. The changes in T/R ratio of tomato seedlings in control and brushing treatment (n = 6). The brushing treatment was started at 10 days after sowing and finished at 30 days after sowing.

T/R률은 파종 후 16일(처리 후 6일)까지는 대조구와 브러싱 처리에서 유의적인 차이가 나타나지 않았지만, 파종 후 19일(처리 후 9일) 이후부터 브러싱 처리에서 유의적으로 감소한 것으로 나타났다(Fig. 5). T/R률은 지상부와 지하부의 건물중 비율을 나타내며, 값이 낮을수록 지하부의 건물중이 증가한 것을 의미한다. 본 연구에서는 브러싱 처리 이후 토마토 묘의 T/R율이 감소하는 것을 확인하였다. 이는 기계적 자극을 받는 동안 토마토 묘의 지상부 생육은 감소하였고 이로 인해 지하부로 광합성 산물의 분배가 상대적으로 많이 이루어진 것으로 판단하며 이에 관한 생리적 기작에 관한 세밀한 연구가 필요할 것으로 판단한다.

본 연구에서는 기계적 자극을 적용한 토마토 공정묘의 생육 변화를 확인하였으며, 이전의 연구에서 주목되지 않았던 브러싱 처리를 통한 토마토의 육묘기 지하부 생육 변화를 확인하였다. 따라서 본 연구의 내용은 기계적 자극 처리와 같은 외부적 스트레스에 대한 작물 생육 변화 시기를 확인할 수 있는 기초 연구로 이용이 될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

기계적 자극은 식물체의 형태적 변화를 유도하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 기계적 자극을 적용한 토마토의 육묘기 동안의 생육 변화를 확인하기 위해 수행되었다. 브러싱 처리가 기계적 자극으로 이용되었으며, 아크릴이 부착된 이송장치를 이용하여 2시간 간격으로 파종 후 10일 이후부터 처리를 진행하였다. 브러싱 처리 동안 생육 변화를 확인하기 위해 3일 간격으로 생육을 조사하였다. 초장과 엽면적은 브러싱 처리에서 대조구에 비해 감소하는 결과를 보였으며 지상부의 생체중과 건물중은 대조구와 유사한 값을 보였다. 총 근장과 지하부 표면적은 브러싱 처리에서 대조구에 비해 증가하였으

며, 지하부 부피는 대조구와 브러싱 처리가 유사한 값을 보였다. 결론적으로 토마토 공정묘에 브러싱 처리는 지상부의 생육 감소를 유도하였으며 지하부의 형태적 발달을 증가시키는 것으로 판단된다.

추가주제어: 기계적 자극, 엽면적, 지하부 표면적, 총 근장, 형태적 변화

Literature Cited

- Bae E.J. 1999, Growth control of vegetable seedlings by growth retardant and UV light treatment. PhD Dissertation, Kyung Hee Univ., Seoul, Korea. (in Korean)
- Börnke F., and T. Rocks 2018, Thigmomorphogenesis - control of plant growth by mechanical stimulation. *Sci Hortic* 234:344-353. doi:10.1016/j.scienta.2018.02.059
- 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 Agric* 2:42-51. doi: 10.1515/opag-2017-0004
- Jaffe M.J. 1973, Thigmomorphogenesis: the response of plant growth and development of mechanical stimulation: with special reference to *Bryonia dioica*. *Planta* 114:143-157. doi:10.1007/BF00387472
- Jaffe M.J. 1976, Thigmomorphogenesis: A detailed characterization of the response of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to mechanical stimulation. *Z Pflanzenphysiol* 77:437-453. doi: 10.1016/S0044-328X(76)80017-7
- Jedrzejuk A., N. Kuźma, K. Nawrot, R. Budzyński, A. Orłowski 2020, Mechanical stimulation affects growth dynamics, IAA content and activity of POD and IAA oxidase in *Petunia×atkinsiana*. *Sci Hortic* 274:109661. doi:10.1016/j.scienta.2020.109661
- Jeong H.W., H.R. Lee, H.S. Hwang, E.B. Kim, and S.J. Hwang 2020, Growth suppression of tomato plug seedlings as affected by material type for brushing stimulation. *Protected Hort Plant Fac* 29:313-319. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2020.29.4.313
- Kim H.M., and S.J. Hwang 2015, Comparison of pepper grafting efficiency by grafting robot. *Protected Hort Plant Fac* 24:57-62. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2015.24.2.057
- 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) doi:10.12791/KSBEC.2018.27.4.285
- 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. *Korean J Hortic Sci Technol* 39:140-144. (in Korean)
- Kwack Y., and S.W. An 2021, Changes in growth of watermelon scions and rootstocks grown under different air temperature and light intensity conditions in a plant factory with artificial lighting. *J Bio-Env Con* 30:133-139. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2021.30.2.133
- Liu Y., F. Schieving, J.F. Stuefer, and N.P.R. Anten 2007, The effects of mechanical stress and spectral shading on the growth and allocation of ten genotypes of a stoloniferous plant. *Ann Bot* 99:121-130. doi:10.1093/aob/mcl230
- Mitchell C.A. 1996, Recent advances in plant response to mechanical stress: theory and application. *HortScience* 31:31-35. doi:10.21273/HORTSCI.31.1.31
- 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. doi:10.1016/j.scienta.2011.12.007
- 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. doi:10.1093/aob/mcp009
- Sarmast M.K., H. Salehi, and M. Khosh-Khui 2014, Seismomorphogenesis: a novel approach to acclimatization of tissue culture regenerated plants. *3 Biotech* 4:599-604. doi:10.1007/s13205-013-0191-8
- Sparke M.A., J. Müller, U. Ruttensperger, F. Heesch, and J.-N. Wünsche 2022, Growth regulation by air stream-based mechanical stimulation in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) - Part I: optimization of application frequency and intensity. *Sci Hortic* 304:111252. doi:10.1016/j.scienta.2022.111252
- 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-Env Con* 19:55-62. (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-Env Con* 16:205-209. (in Korean)