

암면 큐브 육묘에서 급액 시점에 따른 파프리카 묘의 소질 변화

고바을¹ · 김호철^{2,3,4} · 구양규^{2,3,4} · 김철민^{2,3,4} · 배종향^{2,3,4*}

¹원광대학교 원예산업학부 박사 후 연구원, ²원광대학교 원예산업학부 교수,

³원광대학교 생명자원과학연구소 교수, ⁴원광대학교 식물육종연구소 교수

Changes in Qualities of Paprika Seedlings Affected by Different Irrigation Point in Raising Seedlings using Rockwool Cube

Baul Ko¹, Ho Cheol Kim^{2,3,4}, Yang Gyu Ku^{2,3,4}, Chul Min Kim^{2,3,4}, and Jong Hyang Bae^{2,3,4*}

¹Post-Doctoral Researcher, Division of Horticulture Industry, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

²Professor, Division of Horticulture Industry, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

³Professor, Institute of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

⁴Professor, Institute of Plant Breeding Research, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

Abstract. This study was conducted to investigate the seedling qualities and growth of paprika according to various irrigation points (IPs) (30, 40, 50, 60 or 70%) compared to the weight of rockwool cube with 100% water content for raising seedlings of paprika. Growth degree of paprika seedlings was positively correlate with various irrigation points. In particular, paprika seedlings with IP 30-40% and IP 50-70% treatments were significantly higher than those with other treatments. Leaf area of seedlings was 50-100% wider in those with IP 50% and IP 40% treatments than those with other treatments, therefore dry weight was heavier in IP 30-60% treatments. The dry weight of more than IP 50% treatments had no significant differences. Leaf area (Y_1) had a significant relation with the irrigation point (x) as $Y_1 = 48.311x + 133.7$ ($R^2 = 0.9116^{**}$). Also dry weight (Y_2) of the seedlings showed a linear regression equation as $Y_2 = 0.1584x + 0.8616$ ($R^2 = 0.8853^*$). Considering the leaf area and the dry weight of irrigation points for rising seedlings of paprika in this study, the optimum range of the irrigation points in the water contents of rockwool cube is IP 50%.

Additional key words : *Capsicum annum* L., dry weight, linear regression equation, leaf area, rockwool cube

서 론

국내에서는 시설재배의 확산과 더불어 1990년대 이후 공정 육묘의 발달로 자가육묘에서 플러그(Plug) 육묘 방식으로 전환되었다(Shin, 1997). 공정육묘는 자가육묘에 비해 연중 및 대량생산, 노동력절감, 균일한 묘 생산, 수확량 증대, 병해충 관리 등에서 장점을 가지고 있다(Lee 등, 2013; Kim 등, 2015; Shin, 2000). 묘 소질은 정식 후 생산성 및 품질에 큰 영향을 미치는 중요한 요인으로(Buwalda 등, 2006), 묘의 생육 조절을 통해 품질을 높이고자 광 환경(Kang 등, 2010; Lee 등, 2012; Um 등, 2009), 물리적 자극(Choi 등, 2001), 주야간 온도차(Kim 등, 1999a; Kim 등, 2013b), triazole계 농약을 이용한 성장조절제(Jo, 2015; Zhang 등, 2003), 플러그 셀 크기(Lee 등, 2001), 육묘 일수 및 온도(Jo 등, 2016; Kim 등, 1999b;

Kim 등, 2015), 관수관리법(Lee와suh, 2009) 등 다양한 연구들이 진행되었다. 하지만 대부분의 연구들은 플러그 묘에 집중되었고, 암면 큐브를 이용한 저면관수 방식인 파프리카 육묘는 아직까지 자가육묘에 의존하고 있어 재배기술 대비 육묘 기술 수준이 낮은 실정이다. 토양재배에 비해 수경재배용 배지들은 그 용량에서 제한되어 있고 이로 인하여 보수력이 낮아 적절한 관수관리가 필수적이다(Pauwels와samson, 2006). 파프리카, 토마토, 고추 등의 수분 관리는 작물의 생체중, 건물중에 영향을 주며 배지수분함량을 너무 낮거나 높게 유지하면 건조 또는 과습에 의한 스트레스가 발생한다고 보고되었다(Jang 등, 2014; An 등, 2009). 또한 배지 종류에 따라 적정 수분 함량이 다르며 수분 보유 함량을 높게 유지할 시 배꼽썩음과 과잉발생 빈도가 증가한다고 보고되었다(Lee 등, 2009). 이와 같이 수경재배에서 배지의 수분관리는 작물의 생육에 중요한 요인으로 작용한다(Narn 등, 2005). 파프리카 육묘는 파종관에서 발아 후 암면 큐브에 이식하여 양성된 후 재배온실의 슬라브(slab) 배지에 정식되는 과정을 거친다. 암면

*Corresponding author: bae@wku.ac.kr

Received March 31, 2020; Revised May 28, 2020;

Accepted June 02, 2020

큐브에 이식한 후 수분관리는 양액 공급 후 묘를 포함한 암면 큐브의 무게를 제어하여 양성한다. 현장에서는 관행적으로 암면큐브에 100% 양액이 흡수된 이후 그 무게의 50-60%가 될 때 재공급을 하는 방법을 이용하고 있다. 하지만 그 제어가 명확하게 이루어지지 못하고 있고 성장량의 변화를 고려하지 못하고 있어 동일한 조건의 농가 간에도 묘 소질의 차이를 나타내고 있다.

따라서 본 연구는 정밀한 무게 제어가 가능한 로드셀방식 자동급액시스템을 이용하여 파프리카 육묘 시 적정 급액시점을 검증하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 급액시점에 따른 파프리카 묘 관리

2019년 7월에 원광대학교 원예산업학부 실습 포장 내에서 파프리카 ‘아시아레드(Asiaseed Co., Korea)’를 대상으로 저면관수방식의 육묘 시 급액시점에 따른 생육 차이를 조사하였다. 240공 암면플러그(UR media Co., Korea)를 이용하여 파종한 후 성장상에서 25±1°C, 상대습도 90%로 7일 정도 관리하여 발아시킨 후 자연광 상태로 옮겨주었다. 이후 본엽이 2매 전개되었을 때, 처리구 당 10주씩 암면큐브(10×10×6.5cm, UR media Co., Korea)에 U자형으로 절곡하여 이식하였다(An 등, 2002). 암면블록 이식 후 플라스틱 필름 하우스 내 Ebb & Flow 생육상에서 3주간 양성하였다. 급액시점 설정은 수분함량 100%인 암면 큐브 무게(520g)의 30, 40, 50, 60 및 70%로 하였고, 농촌진흥청에서 제시한 파프리카 표준 배양액(pH 5.8, EC 1.8dS·m⁻¹)을 저면관수 방식으로 공급하였다. 재배농가의 조건과 동일하게 하기 위하여 플라스틱필름 온실에서 온도제어를 하지 않고 시험을 수행하였다. 시험 기간 동안 일 평균 온도는 32.9°C, 일 평균 일사량은 377W·m⁻²이었다.

2. 급액시점에 따른 파프리카 묘의 생육특성 조사

암면큐브 이식 후부터 매주 초장과 엽수를 조사하였고 육묘 종료 후 파괴 조사를 실시하였다. 파괴 조사는 지제부를 절단 후 지상부의 초장, 경경, 엽수, 엽면적, 생체중 및 건물중, 그리고 이들을 이용하여 건물률, 상대성장률, 엽면적률, 순동화율을 조사하였다. 초장은 30cm 자를 이용하여 생장점까지의 길이를 측정하였고, 경경은 지제부의 1cm 위를 캘리퍼스(500-182, Mitutoyo Co., Kawasaki, Japan)를 이용하여 측정하였다. 엽수는 줄기로부터 분리하여 세었고, 엽면적은 엽면적측정기(LI-3100, LI-COR Co., Lincoln, USA)를 이용하여 측정하였다. 묘의 생체중 및 건물중은 미량전자저울(HS-210TT, Hansung co., Korea)을 이용하여 측정하였는데, 생

체중 측정 후 60°C 건조실에서 96시간정도 완전히 건조시킨 후 건물중을 측정하였다.

묘의 성장분석을 위해 암면큐브 이식 전 묘와 육묘가 종료된 묘의 파괴조사된 결과들을 이용하여 상대성장률, 엽면적률, 순동화율, 건물률을 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석 기준(RDA, 2012)에 따라 아래와 같이 계산하였다.

- 상대성장률(RGR, Relative growth rate) = $(\text{Log}_e \text{DW}_2 - \text{Log}_e \text{DW}_1) \div (T_2 - T_1)$
- 순동화율(NAR, Net assimilate rate) = $\{(\text{DW}_2 - \text{DW}_1) \times (\text{Log}_e \text{DW}_2 - \text{Log}_e \text{DW}_1)\} \div \{(T_2 - T_1) \times (L_2 - L_1)\} \times D$
- 엽면적률(LAR, Leaf area rate) = $L \div \text{DW}$
- 건물률(Dry mass) = $(\text{DW} \div \text{FW}) \times 100$
- L (Leaf area) : 식물체당 엽면적 (cm²/plant)
- DW (Dry weight) : 식물체당 건물 중량 (g/plant)
- FW (Fresh weight) : 식물체당 생체 중량 (g/plant)
- DW₁, DW₂ : 시작과 종료 시점의 식물체 건물 중량 (g/plant)
- T₁, T₂ : 시작과 종료 시점의 시간 (days)
- L₁, L₂ : 시작과 종료 시점의 식물체 엽면적 (cm²/plant)
- D (Density) : 육묘 베드 내 묘의 밀도

3. 통계 처리

측정된 데이터는 SPSS 통계프로그램(12.0 Version, IBM Co., USA)과 엑셀 소프트웨어(MS OFFICE 2016, Microsoft Co., USA)를 사용하여 분석되었다. 처리 간 유의차 검증은 95% 신뢰수준에서 Duncan 다중 검정(Duncan's multiple range test)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 암면블록의 급액시점에 따른 파프리카 묘의 소질

급액시점(Irrigation Point, IP)에 따라 양성된 파프리카 묘의 생육 특성을 살펴보면(Table 1), 급액시점과 생육량 간 정의 상관성을 나타내는 경향이였다. 특히 IP 50% 이상과 나머지 처리구 간 생육 차이가 뚜렷하게 나타났다. 초장은 IP 30%에서 11.3cm, IP 40%에서 12.8cm, IP 50%에서 14.3cm, IP 60%에서 14.3cm, IP 70%에서 15.3cm를 나타내어 수분함량을 높게 유지할수록 긴 경향이였다(Fig. 1). 경경은 IP 50% 이상에서 4.96~5.02mm로 유의한 차이를 나타내지 않았지만 IP 30%와 IP 40%에서는 각각 4.14mm, 4.51mm로 수분함량을 낮게 유지할수록 유의하게 짧았다. 엽수는 IP 70%, IP 50~60%, IP 30~40%에서 각각 13.4매, 12.2~12.8매, 9.8~10.4매로 암

Table 1. Growth characteristics of paprika seedlings grown under various irrigation point for 3 weeks after transplanting into rockwool cube.

Irrigation point (%)	Plant height (cm/plant)	Stem diameter (mm/plant)	Leaf number (no./plant)	Leaf area (cm ² /plant)	Chlorophyll contents (SPAD)
30	11.3 d ^c	4.14 c	9.8 c	179 d	48.3 b
40	12.8 c	4.51 b	10.4 c	209 c	50.4 a
50	14.3 b	4.96 a	12.2 b	319 b	49.9 a
60	14.3 b	5.02 a	12.8 b	323 b	46.4 c
70	15.3 a	4.99 a	13.4 a	363 a	48.3 b

^cMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

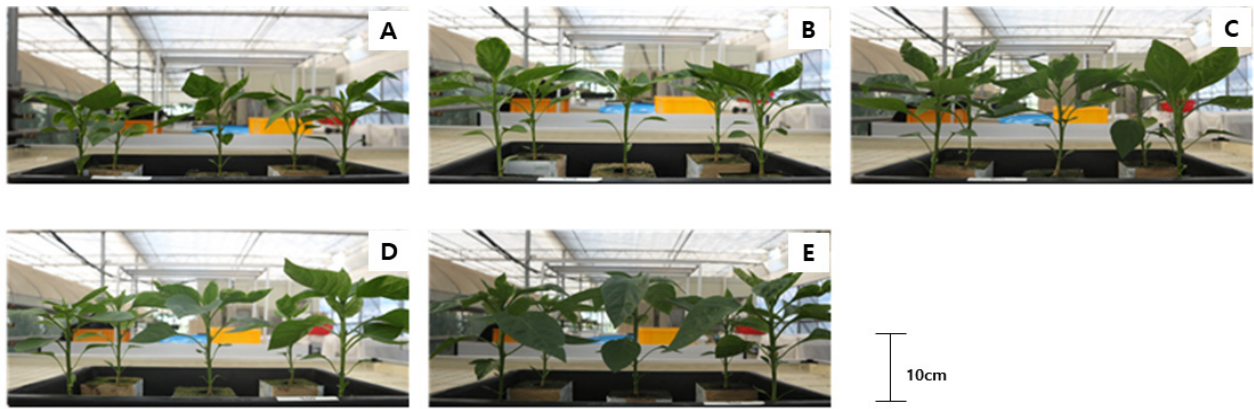


Fig. 1. Plant height of paprika seedlings grown under various irrigation point (IP) for 3 weeks after transplanting into rockwool cube. A, IP 30%; B, IP 40%; C, IP 50%; D, IP 60%; E, IP 70%.

면큐브의 수분을 높게 유지할수록 유의하게 많았다. 엽면적은 IP 30%에서 179cm²/plant, IP 40%에서 209cm²/plant, IP 50%에서 319cm²/plant, IP 60%에서 323cm²/plant, IP 70%에서 363cm²/plant를 나타내어 암면큐브의 수분함량이 높게 유지될수록 넓어지는 경향이였다(Fig. 2). IP 40% 이하에서 IP 50% 이상에 비해 생육량이 뚜렷하게 낮았던 것은 급액시점까지 수분함량이 낮아지면서 일시적인 수분스트레스를 반복적으로 받았기 때문으로 생각된다(Kwack 등, 2014). 지속적인 수분스트레스는 세포조직의 파괴를 유발하기도 하는 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2015).

급액시점에 따른 파프리카 묘의 생체중과 건물중을 살펴보면(Table 2), 생체중은 IP 50~70%에서 유의한 차이를 나타내지 않았으며 IP 40% 및 30%에서는 뚜렷하게 가벼운 경향이었고, 건물중도 생체중과 동일한 경향이였다. 하지만 건물중은 IP 30~40% 처리구에서 11.5~11.6%로 IP 50~70%의 10.5~10.6% 보다 유의하게 높았다. 이와 같이 결과는 암면큐브의 수분을 높게 유지할수록 암면큐브 내에 지속적인 높은 양액 잔류에 의하여 양수분의 확보가 잘 이루어지고 수분의 공급이 원활하게 이루어져 식물체의 수분 비율이 높았기 때문으로 생각된다. 하지만 지속적인 과습은 병해 발병 확률과 이

로 인한 관리의 노동력이 증가할 수 있다고 보고되기도 하였다(Kang와 Kim, 2017).

급액시점에 따른 파프리카 묘의 초장과 엽수 변화를 보면(Fig. 3), 초장과 엽수는 이식 후 1주 구간까지는 처리 간 유의한 차이를 나타내지 않았다. 하지만 이식 후 1주에서 2주 구간에서 유의한 차이가 나타나기 시작했고, 2주에서 3주 구간에서 이러한 경향이 더욱 뚜렷했다. 초장의 생육이 이식 후 1주간 유의한 차이가 나타나지 않았던 것은 이식 후 초기에 뿌리부가 암면큐브에 완전히 활착되지 않아 실제 흡수하는 양수분의 차이가 적었기 때문으로 판단된다. 이후 뿌리가 암면큐브에 활착되어 급액 시점 차이에 따라 유지되는 암면큐브 내 양수분 흡수 차이가 생육에 영향을 미치기 시작한 것으로 생각된다. 따라서 암면큐브 이식 직후보다는 지하부의 활착이 시작되는 시기부터 세밀한 급액 관리가 필요할 것으로 생각된다.

급액시점에 따라 3주 동안 양성된 파프리카 묘의 상대생장률, 순동화율, 엽면적률을 조사하였다(Table 3). 상대생장률은 암면블록의 수분함량이 높을수록 증가하는 경향이였다. 특히, 수분스트레스로 생육 저하가 발생한 것으로 생각되는 IP 30%와 40%에서는 0.1~0.2 정도 뚜렷하게 낮았다. 상대생

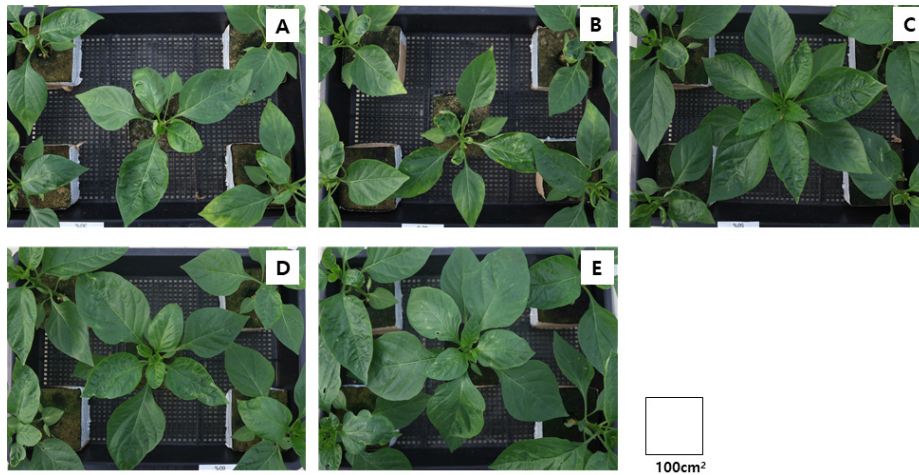


Fig. 2. Leaf area of paprika seedlings grown under various irrigation point (IP) for 3 weeks after transplanting into rockwool cube. A, IP 30%; B, IP 40%; C, IP 50%; D, IP 60%; E, IP 70%.

Table 2. Fresh weight, dry weight, dry mass of paprika seedlings grown under various irrigation point for 3 weeks after transplanting into rockwool cube.

Irrigation point (%)	Fresh weight (g/plant, A)	Dry weight (g/plant, B)	Dry mass [%, (B÷A)×100]
30	8.4 c ^z	0.97 c	11.5 a
40	9.9 b	1.14 b	11.6 a
50	14.3 a	1.49 a	10.6 b
60	14.4 a	1.50 a	10.5 b
70	15.1 a	1.58 a	10.5 b

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

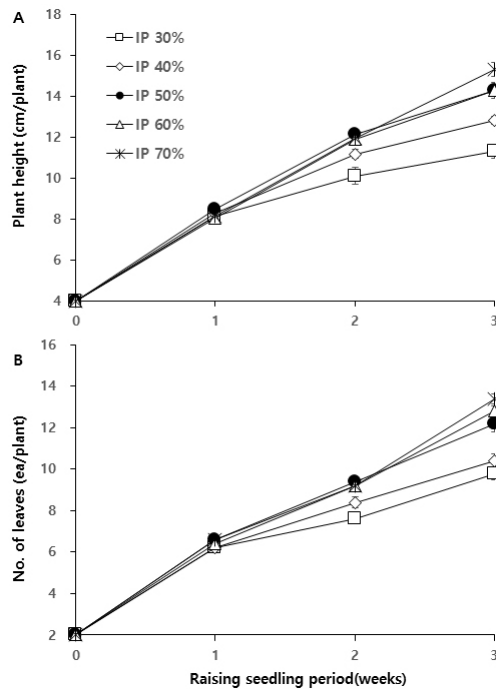


Fig. 3. Changes in plant height (A) and leaf number (B) of paprika seedlings affected by various irrigation point (IP) for 3 weeks after transplanting into rockwool cube. Vertical bars represent the standard error of the mean (n = 10).

Table 3. Relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR), leaf area ratio (LAR) of paprika seedlings grown under various irrigation point.

Irrigation point (%)	RGR (g·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	NAR (g·cm ⁻² ·d ⁻¹)	LAR (cm ² ·g ⁻¹)
30	0.127 c ²	0.243 b	184.1 c
40	0.133 b	0.261 a	182.3 c
50	0.148 a	0.244 b	211.5 b
60	0.148 a	0.239 b	215.5 ab
70	0.149 a	0.230 c	227.6 a

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

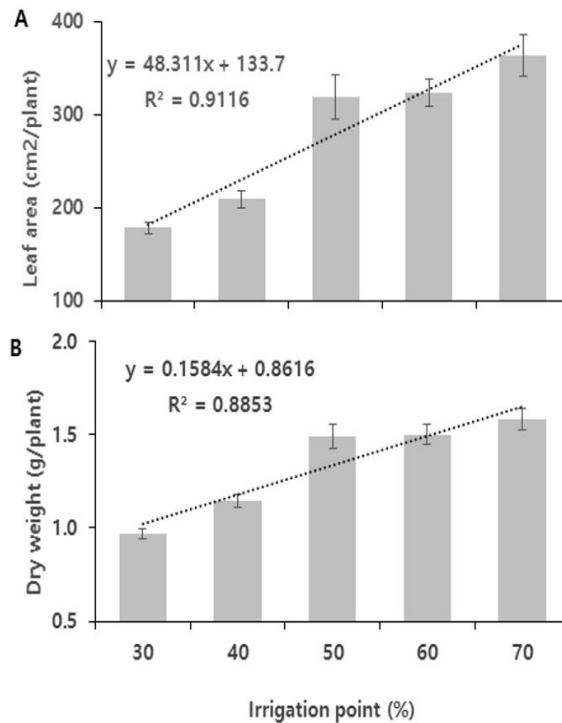


Fig. 4. Relationship between irrigation point (IP) and leaf area (A) and dry weight (B) of paprika seedlings grown for 3 weeks after transplanting into rockwool cube. Vertical bars represent the standard error the mean (n = 10).

Table 4. Irrigation levels supplied for producing paprika seedlings for 3 weeks under various irrigation point in rockwool cube.

Irrigation point (%)	Total irrigation number	Average of water maintenance period ² (days)
30	3	6.3
40	3	5.7
50	5	4.0
60	5	3.6
70	7	3.0

²Mean time to reach each irrigation point after supplying 100% of water contents in rockwool block.

장률이 낮았던 IP 30%와 40%에서 단위 엽면적 당 건물 생산을 나타내는 순동화율이 높았던 것은 엽면적률이 낮았기 때문

이다. 전반적으로 상대생장률과 엽면적률이 정의상관을 나타내었으며 이에 따라 순동화율은 반대의 경향을 나타내었다.

이는 단위 엽면적 당 건물생산 효율이 높았던 것 보다는 암면 큐브의 수분함량에 따라 양 수분의 공급이 원활하여 식물체의 수분 비중이 높았기 때문으로 생각된다.

급액시점에 따라 3주 동안 육묘된 파프리카 묘의 엽면적, 건물중 변화의 관계를 회귀분석한 결과(Fig. 4), 급액시점(x)과 엽면적(Y_1) 간 $Y_1 = 48.331x + 133.7$ ($R^2 = 0.9116^{**}$)의 선형 회귀관계를 나타내었고, 건물중(Y_2)과는 $Y_2 = 0.1584x + 0.8616$ ($R^2 = 0.8853^{**}$)의 관계를 유의하게 나타내었다.

2. 암면블록의 급액시점에 따른 관수체계 차이

급액시점(irrigation point, IP)에 따른 파프리카 묘의 생산에 대한 관수 공급 체계를 살펴보면(Table 4), 3주 동안 총 급액횟수는 IP 30%에서 3회, IP 40%에서 3회, IP 50%에서 5회, IP 60%에서 5회, IP 70%에서 7회 공급되었다. 1회 급액 시 평균 수분유지 기간은 IP에 따라 각각 6.3, 5.7, 4.0, 3.6 및 3.0일이었다. 급액횟수나 1회 급액 후 수분유지 기간에서 IP 30%와 70% 간에는 2배 이상의 차이를 나타내었다.

급액횟수별 암면블록의 수분유지 시간의 변화를 살펴보면(Fig. 5), 첫 번째 급액 시 IP 30%에서 12일, IP 40%에서 10일, IP 50%에서 9일, IP 60%에서 8일, IP 70%에서 5일간 유지되었다. 두 번째 급액 시 IP 70%에서 5일간 유지되어 4일간 유지된 IP 50~60%에 비해 오히려 길었다. 이는 첫 급액 후 IP 70%에서는 수분 과다 조건이 되어 IP 50~60%에 비해 늦은 뿌리 활착 및 지상부 생장으로 수분 소비량이 일시적으로 줄었기 때문으로 판단된다. 4회 이상 급액된 IP 50~70%에서는 3~4회차 급액 시 2~4일 정도 유지되었고, 7회 급액된 IP 70%에서는 5~6회차 급액 시 2일 정도 유지되었다. 시간이 경과할수록 동일 처리에서 수분 유지 기간이 짧아지는 것은 묘의 지속적인 생장에 따라 요구되는 수분과 증산량이 증가하였기 때문으로 판단된다.

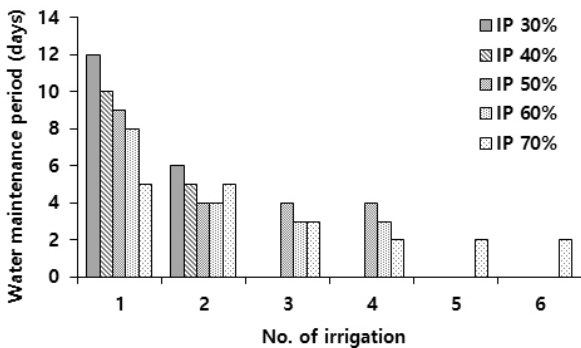


Fig. 5. Changes in water maintenance period of rockwool cube with paprika seedlings under various irrigation point (IP) after transplanting.

적 요

본 시험은 저면관수방식의 파프리카 육묘 시 암면큐브에 대한 다양한 급액시점 (IP 30%, 40% 50%, 60% 및 70%)에 따른 파프리카 묘의 소질을 조사하였다. 급액시점에 따른 파프리카 묘의 생육량은 급액시점과 정의상관을 나타내었다. 특히 IP 30~40% 처리구와 IP 50~70% 처리구들 간 뚜렷한 차이를 나타내었다. 엽면적은 50% 이상의 처리구에서 40%이하의 처리구에 비해 50~100%정도 더 넓었고, 건물중도 30%~60% 정도 더 무거웠다. IP 50% 이상 처리구에서 건물 중의 유의한 차이는 없었다. 급액시점(x)은 파프리카 묘의 엽면적(Y_1)과 $Y_1 = 48.311x + 133.7$ ($R^2 = 0.9116^{**}$), 건물중(Y_2)과는 $Y_2 = 0.1584x + 0.8616$ ($R^2 = 0.8853^{**}$)의 선형회귀관계를 나타내었다. 따라서 본 연구 조건에서 파프리카 육묘 시 처리 간 엽면적과 건물생산량을 고려하였을 때 수분함량 100%인 암면 큐브 무게의 50%에 급액하는 것이 적합하고 경제적인 것으로 생각된다.

추가 주제어: 파프리카, 건물중, 선형회귀식, 엽면적, 암면큐브

Literature Cited

- An, C.G., D.S. Kang, C.W. Rho, and B.R. Jeong. 2002. Effects of transplanting method of seedlings on the growth and yield of paprika. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 20:15-18.
- An, C.G., Y.H. Hwang, G.M. Shon, C.S. Lim, J.L. Cho, and B.R. Jeong. 2009. Effect of irrigation amount in rockwool and cocopeat substrates on growth and fruiting of sweet pepper during fruiting period. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:233-238.
- Buwalda F, E.J. Van Henten, A. De Gelder, J. Bontsema, and J. Hemming. 2006. Toward an optimal control strategy for sweet pepper cultivation: A dynamic crop model. *Acta Hortic.* 718:367-374.
- Choi, Y.H., H.C. Rhee, D.K. Park, J.K. Kwon, and J.H. Lee. 2001. Effect of mechanical stimulation and chemical treatments on growth of seedlings and yield of tomato. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 19:320-324.
- Jang Y.A., B.H. Mun, C.S. Choi, Y.C. Um, and S.G. Lee. 2014. Graft-take and growth of grafted pepper transplants influenced by the nutrient and irrigation management of scion and rootstock before grafting. *J. of Bio-Environ. Control* 23:364-370.
- Jo, Y.H. 2015. Seedling quality, growth and yield characteristics after transplanting of grafted tomato as affected by seedling age and diniconazole treatment. Ph.D Diss Wonkwang Univ.
- Jo, Y.H., C.S. Kim, J.M. Kim, Y.G. Ku, and H.C. Kim. 2016.

- Qualities and early growth responses of paprika seedlings grown in high and low temperatures. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 34:719-726.
- Kang, S.H. and J.Y. Kim. 2017. Effect of soil moisture contents on infection of soilborne disease of *capsicum annuum* caused by *phytophthora capsici*. *Kor. Soc. Hort. Sci. Horticulture:Abstract.* 35:38-39.
- Kang, Y.I., J.K. Kwon, K.S. Park, I.H. Yu, S.Y. Lee, M.W. Cho, and N.J. Kang. 2010. Changes in growth of tomato and grafted watermelon seedlings and allometric relationship among growth. *J. Bio-Environ. Control* 19:275-283.
- Kim, H.C., Y.G. Ku, Y.B. Lee, J.H. Lee, J.H. Choi, and J.H. Bae. 2013b. Early growth of sweet pepper by difference between day and night temperature after planting. *Kor. J. Hort. Sci Technol.* 19:552-557.
- Kim, H.C., Y.H. Cho, Y.G. Ku, and J.H. Bae. 2015. Seedling qualities of hot pepper according to seedling growth periods and growth and yield after planting. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33:839-844.
- Kim, J.S. 2015. Present studies and development plan of vegetable seedling industry in Korea. Master's thesis. Konkuk. Univ.
- Kim, O.I., Y.S. Chae, and B.R. Jeong. 1999a. Effect of day/night temperatures, and N concentration and $\text{NH}_4 : \text{NO}_3$ ratio of nutrient solution on the differentiation of flower buds, node of early fruit set, and growth of 'Sukwang' tomato. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:287-293.
- Kim, Y.B., Y.H. Hwang, and W.K. Shin. 1999b. Effect of root container size and seedling age on growth and yield of tomato. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:163-165.
- Kwack, Y., D.S. Kim and C.H. Chun. 2014. Optimum cultivation period and rockwool block size for paprika transplant production using a closed transplant production system. *J. Bio-Environ. Control* 23:139-143.
- Lee, E.J. and J.K. Suh. 2009. Effect of watering control on growth and bulb size of plug seedling in onion (*Allium cepa* L.) set production. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:167-173.
- Lee, J.S., H.I. Lee, and Y.H. Kim. 2012. Seedling quality and early yield after transplanting of paprika nursed under light-emitting diodes, fluorescent lamps and natural light. *J. of Bio-Environ. Control* 21:220-227.
- Lee, J.W., K.Y. Kim, and Y.M. Yu. 2001. Effects of nutrient solution strength, seedling age, and container size on seedling quality and yield of 'Spirit' colored bell pepper. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:300-304.
- Lee, J.W., Y.C. Kim, Y.A. Jang, and C.H. Chun. 2013. Seedling raising technology of vegetable. Korea Society for Horticultural Science (ed.) History of Korea horticulture. p. 127-133.
- Lee, S.G., H.J. Lee, S.K. Kim, C.S. Choi, S.T. Park, Y.A. Jang, and K.R. Do. 2015. Effects of vernalization, temperature, and soil drying periods on the growth and yield of chinese cabbage. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33:820-828.
- Nam, S.S., I.H. Choi, and Y.S. Jang. 2005. Response of root elongation and plant height growth in southern type garlic (*Allium sativum* L.) under different soil water potential condition. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23:1-5.
- Pauwels, V.R.N. and R. Samson. 2006. Comparison of different methods to measure and model actual evapotranspiration rates for a wet sloping grassland. *Agricultural Water Management.* 82:1-24.
- Rural Development Administration (RDA). 2012. Analysis standard for research in agricultural science and technology. p. 503-504.
- Shin, Y.A. 1997. Studies on optimal seedling quality for mechanical transplanting and growth regulation in plug seedling of hot pepper. Ph. D. thesis. Konkuk Univ.
- Shin, Y.A., K.Y. Kim, Y.C. Kim, T.C. Seo, J.H. Chung, and H.Y. Park. 2000. Effect of plug cell size and seedling age on seedling quality and early growth after transplanting of red pepper. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 41:49-52.
- Um, Y.C., Y.A. Jang, J.G. Lee, S.Y. Kim, S.R. Cheong, S.S. Oh, S.H. Cha, and S.C. Hong. 2009. Effects of selective light sources on seedling quality of tomato and cucumber in closed nursery system. *J. of Bio-Environ. Control* 18:370-376.
- 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. Control* 12:173-179.