

순환식 수경재배에서 배액 재사용율이 여름작형 파프리카의 생육 및 수량에 미치는 영향

장동철¹ · 최기영² · 김일섭^{1*}

¹강원대학교 원예학과, ²강원대학교 시설농업학과

Effect of Drainage Reusing Ratio on Growth and Yield of Summer-cultivated Paprika in Recycling Hydroponic Cultivation

Dong-cheol Jang¹, Ki-Young Choi², and Il-Seop Kim^{1*}

¹Department of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Department of Controlled Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract. This experiment was conducted to analyze the effect of drainage reuse rate on the growth and fruiting of summer paprika in closed hydroponic cultivation. The experiment was carried out for 25 weeks from March to September 2015 with 0, 20, 30, 50% mixing ratio of waste nutrient solution using non-recycling hydroponic cultivation as a control. As a result, stem diameter of the test was different in the groups 1 and 2, but no difference showed as the group progressed more than 3 groups. L.A.I tended to decrease with increasing drainage mixing ratio. The number of nodes in the 50% reuse test group was 1.4 compared to the control group, but there was no significant difference. The number of harvested nodes was significantly different in the control group (11.1 nodes) and the 50% reuse test group (8.7 nodes), and the harvested nodes tended to decrease as the drainage was reused. The ratio of harvest was also the same as that of the harvesting node, and the control was the highest at 33.2% and the lowest at the 50% reuse test at 27.6%. Relative yields were reduced by 30%, 35% and 45% in the control group in the first group, and this tendency was also observed in the second and fourth groups. However, in the 3 and 5 groups, the production of 50% test group increased by 13% and 5%. The ratio of unmarketable fruit was increased 2%, 4%, 4%, and 7% in 0%, 20%, 30% and 50% reuse test, respectively. In conclusion, if the decrease in yield due to the decline in early growth is carefully managed, even if the imbalance of inorganic ions occurs after the mid-term growth, the growth of the crop will enter into a stable period and the re-use will not be worried about the growth and the yield decrease.

Additional key words : *capsicum annuum* L., closed-loop soilless culture, harvested fruit ratio, relative yield

서 론

국내 수경재배 면적은 1990년 8.2ha에서 2013년 1,665ha로 급격히 증가하였다. 이중 파프리카(*Capsicum annuum* L.)의 재배면적은 2010년 424a에서 2013년 575a로 35.6% 증가하였다(aTkati, 2014). 파프리카의 수경재배 비율은 95%로 토마토, 오이 등 다른 작물에 비해 매우 높지만, 대부분 고품배지를 이용한 비순환식 수경재배이고 순환식 수경재배는 5% 미만에 불과하다.

최근 환경오염에 대한 관심이 증가하면서 수경재배온실에서 배출되는 폐양액이 환경오염에 미치는 문제가 주

목 받고 있다. 해외에서는 이미 이와 같은 문제에 대하여 1989년 독일에서 논의를 시작하였고, 네덜란드에서는 1994년 Waste Water Disposal Decree 법령을 제정하여 2004년부터 수경재배 농가는 100% 순환식 수경재배로 전환하도록 하였고, 2027년까지 온실에서 사용되는 어떠한 비료성분도 외부로 방출하지 않기로 농가와 정부간 협약을 맺고 진행 중이다. 하지만 국내에는 아직 이와 같은 폐양액 배출에 대한 관련 규제가 없는 상황이다.

순환식 수경재배는 폐양액의 재사용을 통해 질소나 인 산염과 같은 비료염의 배출을 감소시켜 환경오염을 최소화 할 수 있고, 비료와 원수 사용량을 절감하여 경제성도 높일 수 있다. Van Gemert(1994)는 파프리카 수경재배시 순환식 수경재배의 원수사용량은 7,229톤/ha/년으로 비순환식 수경재배에 비해 29% 절감되고, N, P, K, Ca, Mg, S의 연간 비료 사용량도 각 47, 39, 44, 55, 49,

*Corresponding author: kimilsop@kangwon.ac.kr

Received January 3, 2017; Revised January 17, 2017;

Accepted January 18, 2017

56% 절감된다고 보고하였다. 또한 Van Os(1994)는 배액을 20%로 하는 토마토 수경재배시 배액을 전량 폐기할 경우 손실되는 비료량은 N, P, K, Ca, Ma 각각 147, 71, 282, 126, 60kg/ha 이며, 배액을 재사용 하는 오이 수경재배의 경우는 비순환식 수경재배에 비하여 수분소비량, 양분배출량, 비료값이 각각 21, 80, 35% 절감되고, 상추는 29, 100, 50%, 국화는 15, 65, 20% 절감 된다고 보고하였다.

하지만 이와 같은 순환식 수경재배의 장점에도 불구하고 비순환식 수경재배에 비해 10-15% 비싼 초기투자비, 설치 후에도 2주 간격의 재사용 양액 분석에 따른 운영비, 병 발생과 배양액관리 기술에 대한 농가의 막연한 불안감등으로 인해 실제 순환식 수경재배를 적용하고 있는 농가는 매우 적은 실정이다(Nam 등, 2004).

Adams 와 Ho(1995), Lopez 등(1996), Zekki 등(1996)은 순환식 수경재배시 재배기간이 길어지게 되면 순환이 진행될수록 배양액내 이온들의 불균형이 심각해져 작물 생육 및 수량에 부정적인 영향을 미친다고 보고하였다.

하지만 Dhakal 등(2005)는 28%의 유기물을 함유한 배지를 사용한 토마토 재배시 순환과 비순환식 수경재배의 생산량 차이가 없었다고 보고하였고, Hao 와 Papadopoulos(2002)와 Zekki 등(1996)이 실시한 토마토 암면재배에서의 순환과 비순환 수경재배의 차이의 연구에 따르면 배액 재사용에 의한 생육 및 수량이 유의적인 차이를 보이지 않아서 상업용 재배온실에서도 경제적으로 적용 가능하다고 하였다.

이러한 상반된 연구결과를 보이는 이유는 식물이 양분을 흡수하는 농도는 배액 성분뿐 아니라 환경 조건과 생육단계에 따라 변하고, 식물이 가진 이온 선택성에 의해 스스로 유리한 생육발달을 유지하는 것의 영향으로 생각된다(Abram, 1980; Van Noordwijk, 1990 J. Le Bot, 1997).

순환식 수경재배를 적용하기 위해선 행잉거더, 배액회수장치, 살균장치 등 필수적인 설비의 설치운영이 일정 규모 이상의 면적에서만 가능하기 때문에 국내에서 수행된 관련 연구는 대규모 유리온실이 위치한 겨울작형에 편중되어있고 중소규모의 농가가 대부분을 차지하는 여름작형에서 수행된 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 EC 기준 순환식 수경재배에서 배액 재사용에 따른 여름재배 파프리카의 생육과 수량의 특성을 분석함으로써 여름작형 농가의 순환식 수경재배 적용시 기초자료로 활용하고자 수행되었다.

재료 및 방법

본 실험은 2015년 3월 18일부터 2015년 9월 30일까지

지 25주 동안 강원도 옥계에 소재한 유리온실에서 수행되었다. 공시 품종은 적색계 ‘Maranello’ (Enza Zaden, The Netherlands)으로 2015년 1월 15일 파종 하였다.

시험구는 배액 재사용율을 기준으로 1. 100% 양액(NS) + 0% 배액(D), 2. 80% NS + 20% D, 3. 70% NS + 30% D, 4. 50% NS + 50% D 총 4개를 9주씩 3반복으로 배치하여 코크피트배지(Bio Grow Air+, 120cm × 12cm × 7.5cm)에 재식밀도가 m² 당 6.8줄기가 되도록 정식 하였다.

정식된 식물들은 복합환경제어 시스템 (Integro, Priva B.V, The Netherlands)을 사용하여 24시간 평균온도가 20-23°C로 유지되도록 관리하였으며, 온실 내 이산화탄소 농도는 400-700ppm으로 유지 될 수 있도록 액화탄산(Sundo Chemical)를 시비하여 조절하였다.

배양액은 네덜란드 PBG양액(비순환식)을 사용하여 전 생육기간 공급하였으며, 모든 시험구의 공급 EC는 2.8dS·m⁻¹ 기준하였다. 또한, 관수량은 배지 내 EC, 함수율 등을 3.5-5.0dS·m⁻¹와 55-65% 범위에서 유지될 수 있도록 일일 공급량을 조절하였고, 병해충은 천적과 친환경 농약을 사용하여 IPM 방식으로 관리하였다.

생육조사는 전 생육기간을 6마디씩 나누어 총 여섯 단계로(Group 1: 1-6 마디, Group 2: 7-12마디, Group 3: 13-18마디, Group 4: 19-24마디, Group 5: 25마디 이상) 구분하여 초장, 개화위치, 경경, 엽장, 엽폭, 엽형, 엽면적, 마디수, 절간장, 착과여부, 낙과여부, 수확여부, 평균과중, 착색기간을 매주 조사하였다. 초장은 지체부부터 생장점까지의 길이, 개화위치는 생장점부터 완전히 개화된 꽃까지의 길이, 엽장과 엽폭은 개화위치를 결정하는 마디의 잎을, 경경은 1주 전의 생장점의 높이를 기준으로 측정하였고 엽면적 지수, 수확율, 상대적 생산량은 다음 식을 이용하여 산정하였다.

$$\text{엽면적} = \text{엽장(cm)} \times \text{엽폭(cm)} \times 0.6 \times \text{재식밀도} \\ \times \{ \text{본엽수} + (\text{측지엽수} \times 0.7) \}$$

$$\text{수확율(\%)} = \{ \text{수확된 마디수(ea)} / \text{총마디수(ea)} \} \times 100$$

$$\text{상대적 생산량(\%)} = \{ \text{생산량} / 0\% \text{ 재사용 시험구의 생산량} \} \times 100$$

수확과일의 크기는 무게를 기준으로 L(210-180g), M(150-180g), S(120-150g), 비상품(210g이상, 120g이하)로 구분하였다. 배액의 pH, EC 및 무기이온 변화는 NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, Na⁺, Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo를 6월부터 9월까지 월 1회 분석하였다. 양이온은 유도결합플라즈마발광광도기(ICP-730 ES, Varian, USA)를 사용하였고, 음이온은 이온크로마토그래프(ICS-3000, Dionex, USA)을 사용하여 농도를 분석하였다.

본 실험을 위해서 측정된 양적 수치들은 SPSS(Ver. 22, IBM, USA) 프로그램을 이용하여 평균과 표준오차로 표시하였고, 시험구별 유의성은 각 생육시기별로 다중범위 검정 분석법을 활용하여 5% 수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

생육단계별 초장 조사 결과는 Table 1에 나타내었다. 0% 재사용 시험구의 초장이 236cm, 30% 재사용 시험구의 초장이 257cm로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 파프리카 토양 수경재배시 EC 1.5dS·m⁻¹를 기준으로 폐양액을 희석하여 공급시 새양액에 비하여 초장의 차이가 없었다는 Zhang 등(2010a)의 연구와 토마토 토양 수경재배시 폐양액과 관비용 양액 2종의 초장이 차이가 없었다는 Zhang 등(2010b), Dhakal 등(2005)의 보고와 일치하였다. 경경은 생육 초기인 1, 2그룹시에는 시험구간 차이를 보였지만 3그룹이상 진전될수

록 점차적으로 비슷하게 되어 차이가 나타나지 않았다. 이는 초기 생육기에는 상대적으로 작물의 선택 흡수성이 약하여 배양액의 이온 불균형에 의한 영향을 크게 받기 때문이라고 생각된다(Abram, 1980). 엽면적은 배액혼합율이 많을수록 작아지는 경향을 보였다. 특히 폐양액을 사용하지 않은 시험구의 엽면적이 504로 30% 재사용 361에 비해 약 1.4배 높았다. 개화위치는 1그룹에서 20% 재사용 시험구가 3.3cm 로 다른 시험구에 비해 상대적으로 생식생장의 형태를 보였다. 특히 1, 2그룹 모두 강한 생식생장으로 유도되던 20%는 첫 그룹 수확 후 착과 부하가 약해지면서 3그룹에 강한 영양생장의 형태를 보였다. 5그룹에서는 50% 재사용 시험구가 강한 영양생장의 형태를 보였는데, 이는 후기생육에 착과수와 생육의 균형에 의한 영향으로 생각된다.

전체 생육 마디수와 수확율에 대한 조사 결과는 Table 2에 나타내었다. 생육 마디수는 50% 재사용 시험구가 0% 재사용 시험구에 비해 1.4마디 적었지만 유의적인

Table 1. Effect of drainage reusing ratio under EC-based nutrient control in closed-loop soilless culture on the growth of summer-cultivated paprika.

Group	Mixing ratio	Plant Height (cm/day)	Stem Diameter (mm)	Flower Position (cm)	Leaf Area Index ²
1	100% NS + 0% D	59 a ³	10.2 b	6.2 a	122 a
	80% NS + 20% D	58 a	12.4 a	3.3 c	81 b
	70% NS + 30% D	62 a	7.8 c	5.1 b	72 b
	50% NS + 50% D	48 b	8.7 c	6.3 a	72 b
2	100% NS + 0% D	115 a	7.1 b	3.8 a	235 a
	80% NS + 20% D	108 a	8.2 a	3.5 a	153 b
	70% NS + 30% D	110 a	6.4 b	3.9 a	138 b
	50% NS + 50% D	89 b	7.7 ab	3.6 a	142 b
3	100% NS + 0% D	155 a	8.2 a	6.2 b	333 a
	80% NS + 20% D	153 a	7.8 b	9.5 a	235 b
	70% NS + 30% D	158 a	8.8 a	4.5 c	217 b
	50% NS + 50% D	128 b	8.1 a	5.9 bc	217 b
4	100% NS + 0% D	192 a	7.7 a	3.7 a	429 a
	80% NS + 20% D	193 a	7.8 a	4.2 a	324 ab
	70% NS + 30% D	205 a	7.8 a	3.1 a	281 b
	50% NS + 50% D	175 b	7.7 a	3.1 a	296 b
5	100% NS + 0% D	236 ab	8.2 b	6.1 c	504 a
	80% NS + 20% D	232 ab	9.9 a	8.8 b	410 b
	70% NS + 30% D	257 a	9.2 a	5.2 c	361 c
	50% NS + 50% D	218 b	9.4 a	11.3 a	381 c

²Leaf Area Index was calculated as leaf length(cm) x leaf width(cm) × 0.6 × stem density × {number of leaves + (number of side leaves × 0.7)}

³Mean separation within columns by Duncan's multiple range test (P=0.05).

Table 2. Effect of drainage reusing ratio under EC-based nutrient control in closed-loop soilless culture on the yield of summer-cultivated paprika

Mixing ratio	No. of Node (ea, A)	Harvested fruits	
		Number (ea, B)	Ratio ² (%)
100% NS + 0% D	33.5 a ³	11.1 a	33.2 a
80% NS + 20% D	33.2 a	10.1 ab	30.7 b
70% NS + 30% D	33.5 a	9.4 ab	28.2 b
50% NS + 50% D	32.1 a	8.7 b	27.6 b
Average	33.1	9.8	29.9

²Harvested fruits ratio is Number of harvested fruits(B) / Number of node(A)

³Mean separation within columns by Duncan's multiple range test (P=0.05).

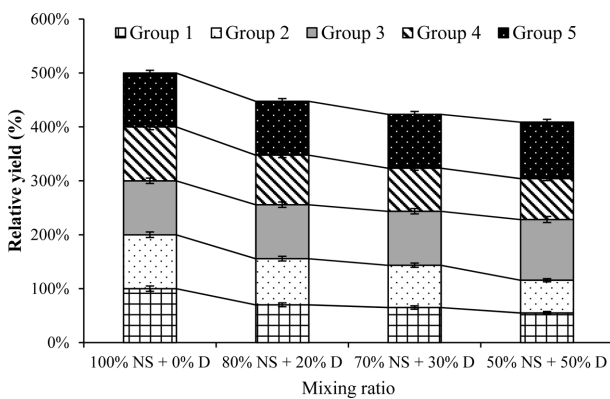


Fig. 1. Effect of drainage reusing ratio under EC-based nutrient control in closed-loop soilless culture on Relative Yield of summer-cultivated paprika. Relative yield (%) = {yield of each group / yield of 0% reuse mixing ratio} × 100. Vertical bars indicate the standard deviation of the sample means (n = 80).

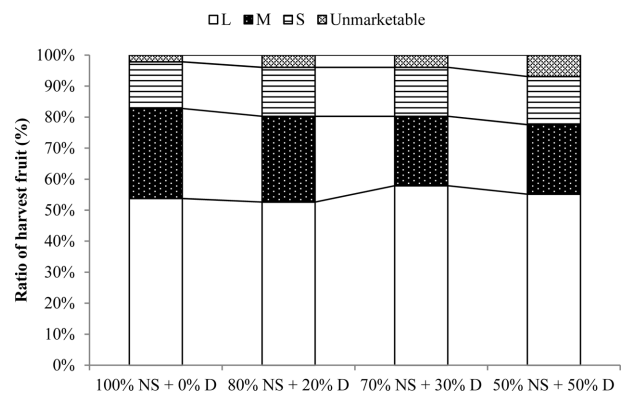


Fig. 2. Effect of drainage reusing ratio under EC-based nutrient control in closed-loop soilless culture on ratio of marketable fruit and unmarketable fruit. L size is from 180g to 210g. M size is from 150g to 180g. S size is from 120g to 150g. Unmarketable is over 210g or under 120g. Vertical bars indicate the standard deviation of the sample means (n = 80).

차이를 보이지는 않았다. 수확 마디수는 0% 재사용 시험구가 11.1마디, 50% 재사용 시험구가 8.7 마디로 유의적인 차이를 보이며 배액을 재사용 할수록 수확마디가 적어지는 경향을 나타내었다. 본 실험의 결과와는 달리 Dhakal 등(2005)과 Zhang 등(2010a)는 순환식 수경재배 시 수확과수에 차이를 보이지 않았다고 보고하였는데, 이는 토양재배와 고형 배지경 재배의 근권부 환경차이로 인한 영향으로 판단된다. 수확을 역시 수확마디와 동일한 경향을 보이며 0% 재사용 시험구가 33.2%로 가장 높았고 50% 재사용 시험구가 27.6%로 가장 낮았다.

배액 재사용에 따른 생산량 감소를 비교하기 위해 생육단계별 상대적 생산량을 Fig. 1에 나타내었다. 생육 초기인 1그룹은 20%, 30%, 50% 재사용 시험구에서 각각 30%, 35%, 45%의 생산량이 감소하였고, 이러한 경향은 2그룹과 4그룹에서도 나타났다. 하지만 3그룹에서는 모든 시험구에서 생산량 감소를 보이지 않았고 오히려 50% 시험구의 생산량은 13% 증가하였을 뿐 아니라 5그룹에서도 5% 증가하였다. 이는 3그룹과 5그룹의 개

화위치와 경경이 영양생장의 형태를 나타낸 것으로 보아 과일을 생산하기에 충분한 동화산물이 생성된 것의 영향으로 판단된다(Table 1).

총 생산량 가운데 비상품과의 비율과 상품과중 L, M, S사이즈의 비율은 Fig. 2에 나타내었다. 모든 시험구에서 상품과중 L, M, S 사이즈의 비율은 약 55%, 25%, 15%로 구분되었다. L사이즈의 비율은 30% 재사용 시험구가 58%로 가장 많았고 M사이즈의 비율은 0% 재사용 시험구가 29%로 가장 많았다. 비상품과의 비율은 0%, 20%, 30%, 50% 재사용 시험구에서 각각 2%, 4%, 4%, 7%로 증가하는 경향을 보였다.

파프리카는 장기간 생육하며 생육단계별 양분 흡수량이 변화하기 때문에(Marti 와 Mills, 1991) 배액을 희석하여 공급 목표에 맞는 EC로 조절을 한 뒤, 새로 조성된 양액과 혼합하여 공급하였을 때 발생하는 배액내의 무기이온의 농도를 Fig. 3에 나타내었다. NO₃는 배액을 재사용하지 않은 경우는 생육이 진전되어도 일정하게 유지되었지만 배액 재사용시 7월의 함량이 급격히 증가하

순환식 수경재배에서 배액 재사용율이 여름작형 파프리카의 생육 및 수량에 미치는 영향

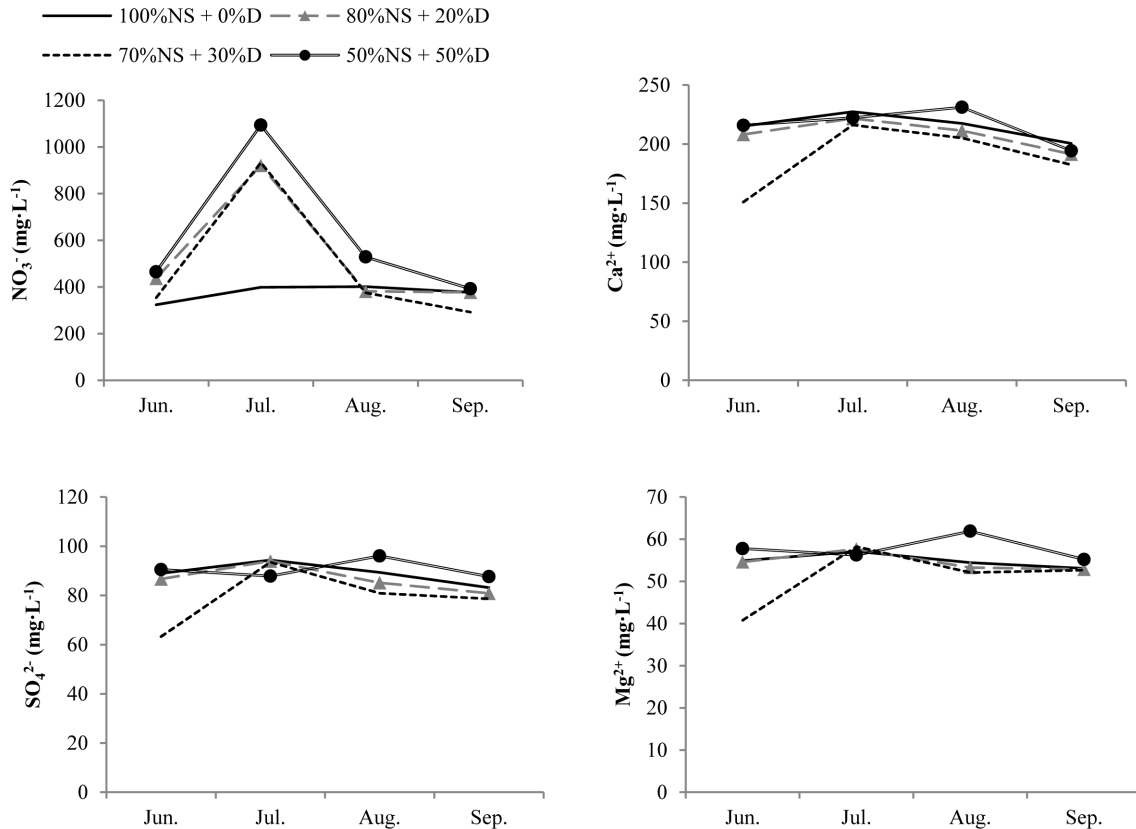


Fig. 3. Change in each ion concentration of the recirculated nutrient solution under EC-based nutrient control in closed-loop soilless culture for summer-cultivated paprika.

였다. 이는 여름철로 접어들면서 배액내의 NO₃⁻ 집적량이 높아지는 것으로 인해 공급량 자체에 함유량이 높았던 것의 영향으로 생각된다. NH₄⁺ 역시 재사용 시험구의 함량이 상대적으로 높았다. 하지만 이러한 NH₄⁺와 NO₃⁻의 집적이 생육에 미치는 영향은 발견할 수 없었다. 0, 20, 30% 재사용 시험구의 PO₄³⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Na⁺의 변화는 미미하였다(data not shown). 30% 재사용 시험구에서 6월에 다소 결핍되는 양상을 보이지만 모든 원소들이 동일하게 감소하였기에 특정원소의 결핍으로 인한 생육적 문제가 발생하지 않았다.

SO₄²⁻의 함량은 생육이 진전되어도 증가하지 않고 오히려 약간 감소하였는데, 이는 SO₄²⁻의 함량이 마지막 샘플 분석기에 약 2배이상 증가하였고(Ahn 등, 2010), 은 생육이 진전 될수록 SO₄²⁻의 함량이 증가하였다는 연구결과(Zekki 등, 1996)와 일치하지 않았다. 이와 같이 재사용에 의한 배액내의 무기이온의 불균형 정도가 크지 않았던 이유는 양액 공급시 배액을 원수로 희석 한 후 설정한 비율에 따라 희석한 배액과 새 양액을 혼합하여 공급하였기 때문에 재혼합을 통한 불균형이 개선 되었고 CEC와 유기물 함량이 높은 코크피트 배지가 완충작용을

해준 것으로 생각된다.

결론적으로 코크피트 배지를 사용한 파프리카 순환식 수경재배시 배액을 희석하여 새양액과 혼합하여 재사용할 경우 초기 생육의 저하로 인한 생산량 감소를 유의하여 관리한다면 중기생육 이후부터는 무기이온의 불균형이 발생하여도 작물생육이 안정기에 접어들어 재사용으로 인한 생육 및 수량 감소를 우려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

적 요

본 실험은 순환식 수경재배에서 배액 재사용율이 여름 파프리카의 생육 및 착과에 미치는 영향을 분석하기 위해 수행되었다. 시험구는 비순환식 수경재배를 대조구로 하여 폐양액의 혼합비율을 0, 20, 30, 50%로 처리하여 2015년 3월부터 9월까지 25주간 실시되었다. 실험결과 경경은 생육 초기인 1, 2그룹시에는 시험구간 차이를 보였지만 3그룹이상 진전될수록 차이가 나타나지 않았다. 엽면적은 배액 혼합율이 많을수록 작아지는 경향을 보였다. 생육 마디수는 50% 재사용 시험구가 대조구에 비해

1.4마디 적었지만 유의적인 차이를 보이지 않았다. 수확 마디수는 대조구가 11.1마디, 50% 재사용 시험구가 8.7마디로 유의적인 차이를 보이며 배액을 재사용 할수록 수확마디가 적어지는 경향을 나타내었다. 수확을 역시 수확마디와 동일한 경향을 보이며 대조구가 33.2%로 가장 높았고 50% 재사용 시험구가 27.6%로 가장 낮았다. 상대적 생산량은 1그룹에서 대조구를 기준으로 30%, 35%, 45%의 생산량이 감소하였고 이러한 경향은 2그룹과 4그룹에서도 나타났다. 하지만 3, 5그룹에서는 50% 시험구의 생산량이 13%, 5% 증가하였다. 비상품과의 비율은 0%, 20%, 30%, 50% 재사용 시험구에서 각각 2%, 4%, 4%, 7%로 재사용율이 높을수록 증가하는 경향을 보였다. 결론적으로 초기 생육의 저하로 인한 생산량 감소를 유의하여 관리한다면 중기생육 이후부터는 무기이온의 불균형이 발생하여도 작물생육이 안정기에 접어들어 재사용으로 인한 생육 및 수량 감소를 우려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

추가 주제어 : 착색단고추, 폐쇄형 수경재배, 상대적 생산량, 수확율

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호 : PJ01 047904)과 2014년도 강원대학교 학술연구조성사업비(과제번호 : C1010656-01-01)의 지원에 의해 수행 되었습니다.

Literature Cited

- aTkati. 2014. Current industrial trends in Paprika. Company report, Korea Aro-Fisheries & Food Trade Corporation, Seoul, Korea.
- Abram A. Steiner. 1980. The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. *Acta Horticulturae*. 98:87-97.
- Adams P and Ho LC. 1995. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. *Acta Horticulturae*. p. 33-44.
- Ahn TI, Shin JW and Son JE. 2010. Analysis of changes in ion concentration with time and drainage ratio under EC-based nutrient control in closed-loop soilless culture for sweet pepper plants(*Capsicum annuum* L. 'Boogie'). *Journal of bio-environment control*. 19(4):298-304(in Korean)
- Dhakal U, Salokhe VM, Tantau HJ and Mas J. 2005. Development of a greenhouse nutrient recycling system for tomato production in humid tropics. *Agricultural engineering international: the CIGR Ejournal*. 7:1-15.
- Hao X and Papadopoulos AP. 2002. Growth, photosynthesis and productivity of greenhouse tomato cultivated in open or closed rockwool systems. *Canadian Journal Plant Science*. p. 771-780.
- Lopez J, Nicolas T, Wim V, Sylvain D and Adner G. 1996. Effects of varying sulphate concentrations on growth, physiology and yield of the greenhouse tomato. *Scientia Horticulturae*. 67:207-217.
- Marti HR and Mills HA. 1991. Nutrient-uptake and yield of sweet-pepper as affected by stage of development and N-form. *J. Plant Nutr*. 14:1165-1175.
- Nam YI. 2004. Present status and further prospects for development of closed hydroponics in Korea. *Kor. Res. Soc. Protected Hort*. 17(1):1-7(in Korean)
- Van Gemert J. 1994. Milieu-aspecten van de potplantenteelt onder glas. *Landbouw-economisch instituut*. 4. 136.
- Van Noordwijk. 1990. Synchronisation of supply and demand is necessary to increase efficiency of nutrient use in soilless horticulture. *Plant nutrition-physiology and applications*. p. 525-531.
- Van Os EA. 1994. Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. *Acta Horticulturae*. p. 396.
- Zekki H, Gauthier L and Gosselin A. 1996. Growth, Productivity, and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. *J. AMER. SOC. HORT. SCI*. 121(6):1082-1088.
- Zhang CH, Xu ZH, Kang HM and Kim IS. 2010a. Effect of waste nutrient solution and fertigation nutrient solution on the growth and qualities of tomato grown by fertigation. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*. 28(4):574-579(in Korean)
- Zhang CH, Lim YS, Kang HM and Kim IS. 2010b. Effect of nutrient solution concentration on the growth and quality of paprika grown by fertigation using waste nutrient solution. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*. 28(1):46-50(in Korean)