

밀폐형 식물공장에서 명/암주기와 암기동안의 상대습도가 미나리 생육과 팁번 발생에 미치는 영향

안재욱* · 정경희 · 윤혜숙 · 황연현 · 홍광표
경상남도농업기술원

Effects of Photo/dark period and Relative Humidity during Dark Period on Growth and Tipburn Occurrence of Water Dropwort (*Oenanthe stolonifera* DC.) in a Closed-type Plant Factory

Jae Uk An*, Kyoung Hee Joung, Hae Suk Yoon, Yeon Hyeon Hwang, and Gwang Pyo Hong

Horticultural Research Division, Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services, Jinju, 52733, Korea

Abstract. This research investigated the effect of photo/dark period and relative humidity during dark period on the growth and quality of water dropwort in a closed-type plant factory system. At 30 days after planting, the shoot fresh weight of water dropwort under relative humidity of 60/90%(light/dark) treatment significantly higher than that under relative humidity of 60/60% treatment. The shoot fresh weight of water dropwort increased by extending light period under relative humidity of 60/60% treatment, but 16/8h photo/dark period showed the best shoot fresh weight, followed by 20/4h and 22/2h under relative humidity of 60/90% treatment. In the relative humidity of 60/90% treatment, the tipburn occurrence was reduced under 16/8h photo/dark period condition as 1.4%, whereas it was significantly increased under 20/4h and 22/2h of relatively long light time duration as 15.5% and 30.3%, respectively. In the relative humidity of 60/60% treatment, the tipburn occurrence was 15.5% under 16/8h photo/dark period condition and those under 20/4h and 22/2h photo/dark period condition were higher than 25%. The stem hardness of water dropwort was lowest in relative humidity of 60/90% and 16/8h photo/dark period treatment. The mineral contents of leaves were decreased by extending light period, but the contents of Ca were not different significantly among the treatments except the 60/60% and 22/2h treatment.

Additional key words : Artificial light, Ca deficiency, Deep Flow Technique(DFT), LED

서 론

미나리(*Oenanthe stolonifera* DC.)는 산형과의 다년생 초본으로 우리나라 전역에서 자생하며 중국, 일본 등 아 한대에서 열대에 이르는 지역까지 널리 분포하고 식용으로 재배되고 있다(Kim 등, 2013). 미나리는 한국인이 좋아하는 향신채소의 하나로 김치, 나물, 장아찌, 생선찌개 등 여러 요리에 다양하게 이용되고 있다(Song과 Kwon, 1990). 특히 isorhamnetin, α -pinene, myrcene 등의 정 유성분에 의한 독특한 향을 가지고 있어(Kim 등, 2011) 가열하지 않고 녹즙이나 생체로 섭취하는 경우도 많다(Kim 등, 2014). 미나리의 재배방법은 식물체의 절반이 상이 물에 잠기도록 담수재배하는 논 재배와 밭 상태로

관리하면서 적절하게 관수하여 재배하는 밭 재배로 구별 되는데, 높은 토양수분 조건 또는 담수상태에서 생육이 좋은 미나리의 특성상 다른 작물에 비해 오염된 물 또는 이물질에 노출될 가능성이 높다. 한국에서 유통중인 신선편이 채소류의 총균수와 대장균군의 밀도를 조사했을 때 미나리는 20종의 채소 중 새싹채소, 숙주, 도라지와 함께 가장 높은 수준의 미생물이 관찰되었는데(Bae 등, 2011), 이는 미나리의 재배환경이 미생물 오염에 취약하다는 것을 보여준다. 식물공장은 시설 내에서 광, 온도, 수분, 양분 등을 적절히 조절하여 작물을 재배함으로써, 최대의 생산성을 얻는 새로운 농업형태로 공학, 농학 및 식물생리 등 다양한 분야의 지식과 기술의 융합이 필요하다(Kim과 Chang, 2009). 식물공장을 활용한 미나리 생산은 기존 재배에서 문제시 될 수 있는 오염에 대한 안전성 문제를 근본적으로 해결할 수 있으며 계절에 관계없이 생산자가 원하는 수량만큼 계획적으로

*Corresponding author: wodnr2@korea.kr

Received September 12, 2016; Revised April 25, 2017;

Accepted April 26, 2017

생산이 가능하다는 장점이 있지만, 생산효율을 극대화시키기 위한 식물공장 재배기술 관련 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 밀폐형 식물공장을 활용한 미나리 재배에서 명/암주기와 암기동안의 상대습도 조절이 미나리의 생육과 품질에 미치는 영향을 구명하여 식물공장 미나리 최적생산을 위한 기초 자료를 얻고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험 재료 및 재배환경

미나리는 순천지역에서 재배되는 자생종을 균일하게 번식하여 이용하였다. 미나리 모주로부터 당년 새로 발생한 줄기를 한파디씩 절취 조제 후 우레탄 스폰지(W×L×H: 30×30×30mm)에 삽목하여 균일한 실험재료를 확보하였고, 스폰지 바닥에 충분히 뿌리가 신장한 후 밀폐형 식물공장 내 수경재배 베드에 처리당 20주씩 3단 베드의 높이에 따라 3반복으로 정식하여 30일간 재배하여 생육을 조사하였다. 재배베드는 담액수경재배시스템(W×L×H: 400×60×6cm)으로, 양액은 24시간 자동타이머를 이용하여 30분 간격으로 10분간, 한시간에 두번씩 공급하였다. 시험에 사용된 양액은 미나리 전용양액(An과 Lee, 1991)을 기준으로 pH는 6.5, EC는 1.5 dS·m⁻¹로 조절하여 공급하였다. 실험기간 동안 온도와 CO₂ 농도는 각각 22±2°C, 450±30ppm로 조절하였다. 인공광원은 LED(Gaoozebiotech Co. Ltd., Korea)를 사용하였고 LED 소자의 혼합비율은 적색 : 청색 : 백색 = 2 : 1 : 1로 구성되었으며 광 파장 스펙트럼은 적색광이 660nm, 청색광이 450nm, 백색광이 450-540nm에서 각각 최대 피크를 보였다. 광량은 Quantum sensor(SQ-326, Apogee Instruments Inc., USA)를 이용하여 180μmol·m⁻²·s⁻¹로 조절하였다.

2. 명/암주기 및 상대습도 조절

식물공장에서 명/암주기와 상대습도 조절이 미나리 생육에 미치는 영향을 알아보기 위해 명/암주기는 명/암기 16/8, 20/4, 22/2h의 3단계로 처리하였다. 상대습도는 명기에는 60%로 고정하고 암기의 경우 각각의 명/암주기 처리별로 60%와 90%로 처리하였다. 생육조사는 정식 후 30일에 초장, 엽수, 엽록소 함량(SPAD 502, Minolta, Japan), 지상부와 지하부의 생체중과 건물중을 조사하였고 미나리 줄기의 경도를 측정하기 위해 지름이 2mm인 원기둥 형태의 탐침을 부착한 물성측정기(COMPAC-100, Sun Scientific CO., Japan)로 줄기 중앙부를 측정하였다. 틱번의 발생은 총엽수에서 틱번이 발생한 엽수의 비율로 나타내었고 3개의 소엽에 모두 틱번이 발생하였을 경우에는 값을 1로 표시하였고 일부분만 발생하

였을 경우 소엽 1개당 1/3의 값으로 계산하였다. 무기성분 분석을 위해 채취된 지상부 생체시료는 80°C에서 24시간 건조시키고 270mesh 체를 통과하도록 분쇄하여 건물 0.5g을 습식 분해하여 분석에 이용하였다. 전질소는 Kjeldahl법, P₂O₅는 Vanadate법으로 spectrophotometer를 사용하여 380nm에서 측정하였다. K₂O, CaO 및 MgO 함량 등은 원자흡광분광도계(AAnalyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)를 이용하여 정량하였다. 통계분석은 SAS프로그램(SAS9.1, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 Duncan 다중검정으로 통계적 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 생육 및 틱번 발생

상대습도를 명/암기 동일한 수준인 60/60%로 처리했을 때보다 암기의 상대습도를 90%로 증가시킨 처리(60/90%)에서 생육이 전반적으로 우수하였다. 상대습도 60/60% 조건에서는 명기가 연장될수록 생육이 우수하였지만 상대습도 60/90% 조건에서는 이와는 반대로 22/2h 처리에서 생육이 가장 저조하였으며 16/8h, 20/2h 처리에서 생육이 우수하였다(Table 1). 야간의 상대습도 조절은 작물에 따라 다른 반응을 보이는데 Choi 등(1997)에 의하면 딸기의 경우에는 야간 상대습도 조절이 영양생장에 영향을 미치지 않지만 토마토는 본 실험과 같이 건물중이 뚜렷하게 증가하였다. 명기시간은 총광합성량을 결정하는 중요한 요인으로써 일반적으로 명기시간의 연장은 생체중 증가에 긍정적인 영향을 미치며 특히 상추와 같은 엽채류의 경우 명기를 24시간까지 연장할수록 생체중이 증가하였다(Park 등, 2013). 미나리의 경우에도 생육기간 동안 명/암기 상대습도를 60%로 고정하던 이전 실험에서 명/암주기를 16/8h, 20/4h, 24/0h로 조절했을 때 24/0h에서 생체중이 가장 높은 결과를 나타내었고(data 미제시), 본 실험에서도 상대습도 60/60% 처리에서는 명기가 연장될수록 생육이 우수하였지만, 암기의 상대습도를 90%로 높인 처리에 비해서는 생육이 전반적으로 저조하였다. 상대습도를 90%로 높인 처리에서는 틱번의 발생이 가장 적었던 명/암주기 16/8h에서 생육이 가장 우수하였는데 이러한 결과가 나온 원인에는 틱번의 발생이 많은 영향을 끼쳤을 것으로 판단된다. 틱번이 발생한 신엽은 제대로 전개되지 못하여 충분한 엽면적을 확보하지 못하게 되고 결과적으로 광합성에 제약을 받게 되어 정상적인 생육을 하지 못한 것으로 추측된다.

충분한 질소질 비료의 공급과 빠른 생육속도는 틱번 발생에 중요한 요인이 되기 때문에(Benoit과 Ceustermans

Table 1. Growth of water dropwort affected by relative humidity and photo/dark period treatment.

Relative humidity (Light/Dark, %)	Photo/dark period	Plant length (cm)	Stem Diameter (cm)	No. of branches	No. of leaves	SPAD value	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Water ratio ^y
							Shoot	Root	Shoot	Root	
60/60	16/8	57.3 a ^z	2.4 b	5.0 a	16.8 b	41.0 a	19.3 b	0.7 a	1.62 b	0.03 b	12.1 a
	20/4	55.9 a	2.6 ab	5.5 a	21.9 a	38.8 a	22.6 ab	0.9 a	2.30 a	0.05 a	10.0 b
	22/2	57.7 a	2.7 a	5.5 a	23.5 a	39.6 a	23.9 a	0.8 a	2.52 a	0.04 ab	9.6 c
60/90	16/8	71.6 a	3.0 a	6.0 a	29.7 a	43.4 b	46.7 a	1.7 a	3.23 a	0.08 a	14.6 a
	20/4	68.7 ab	3.2 a	6.5 a	30.4 a	43.6 b	41.0 ab	1.5 a	3.35 a	0.07 a	12.4 ab
	22/2	63.5 b	3.1 a	5.9 a	26.2 a	45.4 a	32.8 b	1.0 b	3.06 a	0.11 a	10.7 b
Significance											
Relative humidity(A)		***	***	***	*	***	***	***	*	***	***
Photoperiod(B)		**	NS	NS	NS	NS	**	*	*	*	***
A×B		*	NS	NS	**	NS	**	**	NS	NS	NS

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$).

^y Fresh weight/dry weight.

NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P = 0.05, 0.01$ and 0.001 , respectively.

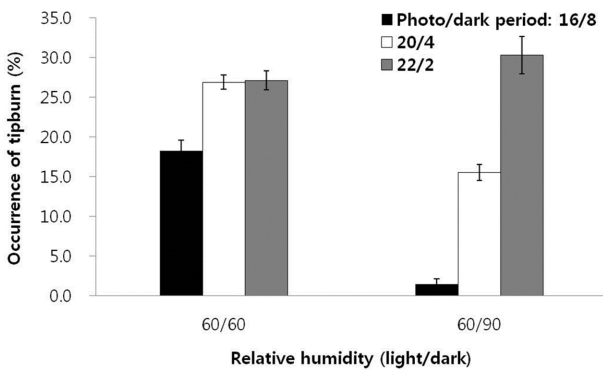


Fig. 1. Tipburn occurrence of water dropwort affected by relative humidity and photo/dark period treatment. Vertical bars represent standard errors of the means of three replicates.

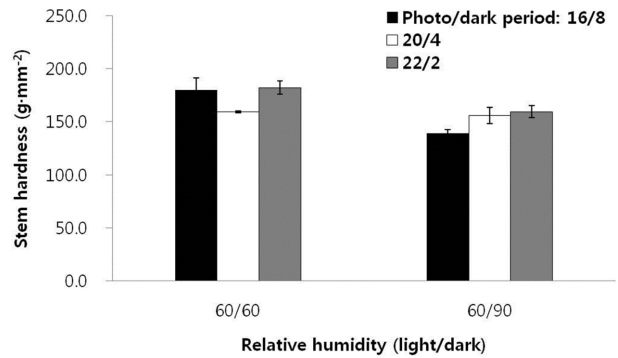


Fig. 2. Stem hardness of water dropwort affected by relative humidity and photo/dark period treatment. Vertical bars represent standard errors of the means of three replicates.

1986) 식물이 빠르게 생육할 수 있게 정밀하게 조절된 환경을 제공하는 식물공장에서 틱번의 발생은 심각한 문제가 된다(Koyama 등, 2012). Fig. 1와 같이 명암기 상대습도가 60/90% 조건일 때 명암주기 16/8h로 처리했을 때 틱번의 발생은 1.4%로 매우 낮았지만 명암주기 20/4h, 22/2h 처리에서는 각각 15.5%, 30.3%로 급격히 증가하였다. 상대습도를 명암기 60%로 동일하게 유지했을 때는 명암주기 16/8h에서도 틱번의 발생이 15.5%로 상대습도 60/90% 처리에 비해 높게 발생하였고 20/4h, 22/2h 처리에서도 25% 이상 높게 나왔다. 이는 Choi와 Lee(2008)가 상추를 대상으로 주야간 상대습도를 처리한 실험의 결과와 일치하는 것으로 주간의 상대습도를 낮추고 야간의 상대습도를 높게 유지할 경우 틱번의 발생이 경감하였다.

2. 미나리 줄기의 경도

미나리 줄기의 경도는 야간습도를 높게 처리할 때 전반적으로 낮게 나왔고 상대습도를 60/60%로 처리한 경우에는 명암주기에 따른 경도의 변화가 뚜렷하지 않았지만 명암주기를 60/90%로 처리한 경우에는 암기시간이 연장될수록 경도가 낮았다(Fig. 2). 이는 미나리의 생육속도와 연관이 있는데 앞선 결과에서 생체중이 가장 우수하였던 상대습도 60/90%, 명암주기 16/8h 처리에서 줄기의 경도가 가장 낮았다. 식물공장에 재배한 미나리는 일반적으로 재배되는 미나리에 비해 외부환경에 오염될 위험이 적기 때문에 샐러드나 녹즙으로 이용이 가능한데 미나리의 연화정도는 미나리 품질에 중요한 요인이 된다.

3. 잎의 무기성분 함량

미나리잎의 무기성분은 Mg을 제외하고는 암기의 상대습

Table 2. Mineral contents in leaves of water dropwort affected by relative humidity and photo/dark period treatment.

Relative humidity (Light/Dark, %)	Photo/dark period	T-N	P	K	Ca	Mg	K/Ca	Mg/Ca
		%						
60/60	16/8	5.7 a ^z	2.5 a	10.2 a	2.2 a	0.39 a	4.6 a	0.18 a
	20/4	5.5 a	2.1 b	9.5 a	2.2 a	0.34 b	4.4 a	0.16 b
	22/2	5.4 a	0.9 c	5.3 b	1.7 b	0.26 c	3.2 b	0.16 b
60/90	16/8	5.9 a	2.4 a	9.9 a	2.0 a	0.42 a	4.9 a	0.21 a
	20/4	5.6 b	2.3 a	9.2 a	2.3 a	0.41 a	4.1 b	0.18 b
	22/2	5.5 b	1.0 b	5.8 b	2.0 a	0.32 b	2.9 c	0.15 b
Significance								
Relative humidity(A)		NS	NS	NS	NS	***	NS	**
Photo/dark period(B)		**	***	***	**	***	*	***
A×B		NS	NS	NS	NS	NS	NS	*

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$).
NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P = 0.05, 0.01$ and 0.001 , respectively.

도에 따라 통계적인 차이를 보이지 않았지만 명/암주기를 조절했을 때 암기시간이 줄어들수록 무기성분 함량이 감소하였으며 특히 22/2h 처리에서 P, K, Mg 함량이 다른 처리에 비해 큰 폭으로 감소하였다(Table 2). 야간의 상대습도 조절이 무기성분 흡수에 미치는 영향이 일관적이지 않고 작물에 따라 다른 결과를 보였는데 야간의 높은 상대습도는 증산율을 감소시켜(Mengel과 Kirkby, 1987) 양분의 수송이 억제되므로 오이에서 Ca 결핍에 의한 장애 등을 발생시킨다고(Bakker, 1984) 하였지만 딸기의 경우 야간의 습도를 높게 관리했을 때 잎의 Ca 함량이 높았으며 틱번 또한 발생하지 않았다(Bradfield와 Guttridge, 1979). 또한 야간의 상대습도를 증가시켰을 때 토마토의 경우 잎에서 대부분의 무기성분이 감소하였지만 딸기의 경우 정반대의 결과를 나타내었다(Choi 등, 1997). 틱번 발생은 Ca 결핍과 관련이 있다고 알려져 있지만(Aloni 등, 1987; Brumm 와 Schenk, 1993) 본 실험에서는 미나리 잎에서 틱번 발생과 Ca 함량 사이에 연관성을 찾아보기 어려웠는데 명기의 습도를 60%로 유지하고 암기의 습도를 90%로 높였을 때 틱번의 발생이 낮았던 이유는 증산이 일어나기 어려운 미전개된 신엽부분에서 근압에 의한 Ca의 이동이 영향을 미쳤을 것으로 추측되며(Choi 등, 2008), 지상부 잎 전체를 분석했을 때는 총 함량에서 차이를 보이지 않았지만 신엽부분의 Ca의 분배에는 차이가 있을 것으로 판단되며 추가적인 연구가 필요하다.

상기 결과들을 종합하여 보면 명기와 암기의 상대습도를 동일한 60%로 처리했을 때보다 명/암주기 16/8h 조건에서 암기의 상대습도를 90%로 관리 할 경우 틱번 발생이 뚜렷이 감소하였으며 수량 또한 가장 높았다. 이러한 점을 볼 때 식물공장을 활용한 미나리 생산을 위해서는 암기의 높은 상대습도가 필수적이며, 8시간 정도

의 암기시간이 요구된다는 것을 알 수 있었다.

적 요

본 연구는 식물공장에서 미나리 재배시 명/암주기와 암기시간 동안의 상대습도 조절이 미나리의 생육과 품질에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행하였다. 정식 후 30일째에 수확하여 생육 및 품질을 비교하였을 때 상대습도 60/90%(명/암기) 처리가 60/60% 처리보다 지상부 생체중이 뚜렷이 증가하였다. 상대습도 60/60% 처리에서 명기가 연장될수록 지상부 생체중이 증가하였지만 60/90% 처리에서는 16/8h 처리에서 지상부 생체중이 가장 높았으며, 20/4h, 22/2h 순이었다. 틱번의 발생은 상대습도 60/90%에서는 명/암주기 16/8h로 처리했을 때 1.4%로 매우 낮았으나, 명기 시간이 연장된 20/4h, 22/2h 처리에서 각각 15.5%, 30.3%로 급격히 증가하였다. 상대습도 60/60%에서는 명/암주기 16/8h에서도 틱번의 발생이 15.5%로 높았으며 20/4h, 22/2h 처리에서는 25% 이상 높게 나왔다. 줄기의 경도는 상대습도 60/90%, 명/암주기 16/8h 처리에서 가장 낮았다. 잎의 무기성분은 명기시간이 연장될수록 감소하였지만 Ca의 함량은 상대습도 60/60%, 명/암주기 22/2h 처리를 제외하고는 유의한 차이가 없었다.

추가 주제어: 인공광, 갈슘 결핍, 담액수경, LED

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ0102302016)의 지원에 의해 수행되었음.

Literature Cited

- Aloni, B. and E. Pressman. 1987. The effects of salinity and gibberellic acid on blackheart disorder in celery (*Apium graveolens* L.). J. Hortic. Sci. 62:205-209.
- An W.B., and B.Y. Lee. 1991. Basic studies on the development hydroponic system of water dropwort, *Oenanthe stolonifera* DC. II. Optimal composition of macronutrients. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 32:425-433.
- Bae Y.M., Y.J. Hong, D.H. Kan, S.G. Heu, and S.Y. Lee. 2011. Microbial and Pathogenic Contamination of Ready-to-eat Fresh Vegetables in Korea. Korean J. Food Sci. Technol. 43:161-168.
- Bakker, J.C. 1984. Physiological disorders in cucumber under high humidity conditions and low ventilation rates in greenhouses. Acta Hortic. 156:257-264.
- Benoit, F. and N. Ceustermans. 1986. Survey of a decade of research(1974-1984) with nutrient film technique (NFT) on glasshouse vegetables. Soil Cult. 2:12-14.
- Bradfield, E.G. and C.G. Guttridge. 1979. The dependence of calcium transport and leaf tipburn in strawberry on relative humidity and nutrient solution concentration. Ann. Bot. 43:363-372.
- Brumm, I. and M. Schenk. 1993. Influence of nitrogen supply on the occurrence of calcium deficiency in field grown lettuce. Acta Hortic. 339:125-136.
- Choi K.Y., and Y.B. Lee. 2008. Effects of Relative Humidity on the Apparent Variability in the Incidence of Tipburn Symptom and Distribution of Mineral Nutrients between Morphologically Different Lettuce(*Lactuca sativa* L.) Cultivars. Hort. Environ. Biotechnol. 49:20-24.
- Choi, J. H., G.C. Chung, and S.R. Suh. 1997. Effect of night humidity on the vegetative growth and the mineral composition of tomato and strawberry plants. Sci. Hort. 70: 293-299.
- Kim M.J., S.A. Yang, J.H. Park, H.I. Kim, and S.P. Lee. 2011. Quality characteristics and anti-proliferative effects of dropwort extracts fermented with fructooligosaccharides on HepG2 cells. Korean J. Food Sci. Technol. 43:432-437.
- Kim M.J., S.P. Lee, J.H. Choi, S.H. Kwom, H.D. Kim, M.H. Bang, and S.A. Yang. 2013. Characteristics of fermented dropwort extract and vinegar using fermented dropwort extract and its protective effects on oxidative damage in rat glioma C6 cells. Korean J. Food Sci. Technol. 45:350-355.
- Kim J.H., and S.D. Chang. 2009. Industrialization condition and possibility of plant factory. Kor. J. Agric. Manage. Policy. 36:918-948.
- Kim Y.R., A.L. Lee, I.W. Choi, Y.H. Lee, S.R. Kim, W.I. Kim, S.H. Ryu, H.S. Lee, J.G. Ryu, and H.Y. Kim. 2014. Investigation of Microbial Contamination in *Oenanthe javanica* at Postharvest. Environments. J. Fd. Hyg. Safety. 29:268-277.
- Koyama, R., M. Sanada, H. Itoh, M. Kanechi, , N. Inagaki, and Y. Uno. 2012. In vitro evaluation of tipburn resistance in lettuce (*Lactuca sativa*. L). Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 108:221-227.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Bern, p. 461-466, 687.
- Park J.E., Y.G. Park, B.R. Jeong, and S.J. Hwang. 2013. Growth of Lettuce in Closed-Type Plant Production System as Affected by Light Intensity and Photoperiod under Influence of White LED Light. Protected Hort. Plant Fac. 22:228-233.
- Song G.S., and Y.J. Kwon. 1990. Analysis of the volatile constituents of *Oenanthe stolonifera* DC. J. Korean Soc. Food Nutr. 19:311-314.