Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 26, No. 2:133-139, April (2017)
DOI https://doi.org/10.12791/KSBEC.2017.26.2.133
pISSN 2288-0992
eISSN 2288-100X

Jasmonic Acid 및 NaCl 처리가 스피아민트의 생육에 미치는 영향

최영 · 장매희*
서울여자대학교 원예생명조경학과

Effect of Jasmonic Acid and NaCl on the Growth of Spearmint(*Mentha spicata* L.)

Young Choi and Maehee Chiang*
Dept. of Horticulture, Biotechnology & Landscape Architecture, Seoul Women's Univ., Seoul 139-774, Korea

Abstract. This study investigated the effects of NaCl and jasmonic acid (JA) on the growth and physiological responses of spearmint (*Mentha spicata* L.). Spearmint was hydroponically grown for 3 weeks in modified Hoagland solution containing 0 (untreated control), JA (20 μM JA pretreatment), NaCl (50 mM NaCl treatment) and JA + NaCl (20 μM JA pretreatment + 50 mM NaCl treatment). Growth characteristics, chlorophyll, vitamin C, proline contents, DPPH scavenging activity and inorganic ion contents were evaluated. As a results, there were significant decreases in the plant height, leaf length, leaf width, and fresh weight of plants, treated with NaCl compared with control. On the other hand, the dry matters of shoot and root treated with JA + NaCl combination were better than control or NaCl treatment. Chlorophyll a and b contents in JA treatment was the highest. Vitamin C, antioxidant activity, and proline content in shoot were increased in NaCl treatment which showed low level of growth rate. The K/Na ratio, which is known to indirectly reflect the balance of ion uptake, was higher in a single treatment of JA than the control group, while lower in salt treatment (NaCl and JA + NaCl) because of high Na^+ absorption. In conclusion, these results showed that moderate stress treatment such as low level salt treatment and plant growth regulator jasmonic acid (JA) application would be potential strategies to improve the quality of spearmint by inducing the accumulation of secondary metabolites containing high antioxidant activity and essential oil.

Additional key words : antioxidant, herb, proline, salt stress, vitamin C

서 론

Jasmonic acid (JA)는 식물체의 상처나 수분 부족 등 광범위한 스트레스에 대한 signal transduction elicitor로써 방어 체계에서 결정적인 역할을 하는 식물호르몬으로 간주되며(Ohita 등, 1991), JA signaling pathway를 통해 terpenoids, flavonoids, alkaloids, phenylpropanoids 등의 2차 대사산물이 증가한다(Gundlach 등, 1992). 염 스트레스는 삼투압으로 인한 이온 불균형 및 뿌리의 수분 흡수 저하뿐 아니라 이차적 산화스트레스를 동반하는 복합적 스트레스 요인 중의 하나로, 염 스트레스 시 수반되는 활성산소종의 증가를 막기 위해 식물체는 항산화 물질 및 항산화 효소들을 생산하게 된다(Ross와 Sombrero, 1991; Delfine 등, 2005). 꿀풀과(Lamiaceae) 허브식물의 phenolic diterpenes (Baik 등, 2009; Kivilomopolo와 Hyotylainen, 2007), flavonoid (Madsen와 Bertelsen, 1995), phenolic acid(Cao와 Cao, 1999) 등은 항산화성뿐만 아니라 항균을 나타내는 2차 대사산물로서, 천연 항산화제로서의 개발 가능성이 높은 성분들이다 (Choudhury 등, 2006). 본 실험에서는 경제적 가치가 높을 뿐 아니라 항균·항산화성이 높다고 보고된 스피아민트를 이용하여 JA 및 염 스트레스 처리에 의한 생육 및 생리적 대사 반응을 비교하고자 실시하였다. 이는 고기능성 작물의 안정적 재배시스템 개발 및 산업적 응용 가능성 확보측면에서 활용가치가 높다고 본다.

*Corresponding author: mhchiang@swu.ac.kr
Received January 18, 2017; Revised April 26, 2017;
Accepted April 28, 2017

재료 및 방법

공시 재료는 '허브다섯메(서울시 송파구 소재)'에서 구입한 스피아민트(*Mentha spicata*) 삽목묘를 사용하였으며, 평균 초장 15cm, 잎 10-15장의 균일한 개체를 선발하여 서울여자대학교 부속농장에서 7월부터 8월까지 재배하

였다. 플라스틱 하우스 내부의 일평균 온도는 25±5°C, 상대습도는 60±10%, 맑은 날 오전 10-12시경에 측정한 광합성유효광양자속은 330-370μmol·m^{-2}·s^{-1}이었고, 0.5배 Hoagland용액(Hoagland와 Aron, 1950)으로 담액수경재배를 실시하였다. Jasmonic acid (JA)는 methyl jasmonic acid ($C_{13}H_{20}O_3$, Sigma Co., USA)을 사용하였다. 처리구는 (1)대조구(0.5배의 Hoagland 용액 처리), (2)JA 처리구(24시간 20μM JA 침지처리 후 0.5배의 Hoagland 용액 처리), (3)JA + NaCl 혼용 처리구(24시간 20μM JA 침지처리 후 50mM NaCl이 포함된 0.5배의 Hoagland 용액 처리), (4)NaCl 처리구(50mM NaCl이 포함된 0.5배의 Hoagland 용액 처리) 등 4처리구로 구분하였으며, 처리구당 8개체를 1반복으로, 3반복 처리하였다.

처리 3주 후에 수확하여 초장, 엽장, 엽폭, 지상부와 지하부의 생체중 및 건물중을 측정하였다. 건물중은 수확한 식물을 70°C의 건조기에서 일주일간 건조시킨 후 측정하였고, 무기성분은 국립농업과학원 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 실시하였는데, 전질소는 micro-Kjeldahl법, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{3+}는 ion chromatography (ICP-7570, Shimadzu, Japan)를 이용하였다. 엽록소 측정은 염 및 JA 처리 2주 후 제 3엽을 채취하여 Inskeep와 Bloom(1985)의 방법으로 측정하였다. 비타민 C 함량은 2,6- dichlorophenolindophenol 방법(Wang 등, 1991)으로 측정하였다. 프롤린(proline) 함량은 수확 후 건물중을 기준으로 Bates 등(1973)의 방법을 변형하여 측정하였는데, 건물중 0.5g의 잎과 뿌리 시료를 10mL의 3% sulfosalicylic acid를 첨가하여 균질화한 후, 4°C, 12,000rpm에서 15분간 원심 분리하였다. 시험관에 2mL의 상등액, 2mL의 acid-ninhydrin 및 2mL의 acetic acid를 넣어 혼합하고, 95-100°C에서 한 시간 동안 가열한 후 빙수조에 넣어 반응을 종결하였다. Acid- ninhydrin은 30mL의 acetic acid와 20mL의 6M phosphoric acid를 혼합한 후 1.25g의 ninhydrin을 넣고 녹을 때까지 교반하여 조제하였다. 반응이 종결된 후, 반응물에 4mL의 toluene을 넣고, 15-20초 동안 강하게 진탕한 후 상온에서 5분간 정치하여 발색단을 물층으로부터 분리하였다. 프롤린의 정량은 toluene을 blank로 사용하였고, 520nm에서 각 시료의 흡광도를 측정하여, 표준곡선과 비교한 후 계산하였다. DPPH(1,1- diphenyl- 2-picrylhydrazyl) 라디컬 소거 항산화 활성은 Blois(1958)의 방법을 응용하여 사용하였으며, 시료는 JA 및 NaCl 처리 후 2주 후에 수확한 시료를 잎, 줄기, 뿌리 부위로 나누어 추출하였다. 잎, 줄기, 뿌리 2g을 세절하여 20배량의 75% methanol을 24hr 처리하여 추출한 후 여과하여 40°C에서 rotary vacuum evaporator로 감압 농축하여 용매를 제거한 다음 methanol에 용해시켜 1.5mL로 정용하였고, 0.45μm syringe filter로 여과하여 냉동 보관하여 사용하였다. 추출은 처리당 3반복으로 실시하였다. DPPH 라디컬에 대한 전자공여능(electron donating ability, EDA)은 75% 메탄올에 녹인 1×10^{-4} M DPPH를 시료의 반응액과 대조구로 사용하였다. 75% 메탄올 허브 추출액 0.1mL를 0.99mL 증류수와 혼합하여 1mL로 희석된 시료액과 DPPH 용액 2mL을 시험관 혼합기에 넣어 10초간 혼합한 후 상온에서 10분간 방치 하고 517nm에서 흡광도를 측정하였다. 전자공여능(EDA)은 아래와 같은 식을 이용하여 구하였다.

EDA(%)=(1-A/B)×100

A: absorbance of sample

B: absorbance of 1×10^{-4} M DPPH

통계처리는 SPSS를 이용하였으며, 처리평균간 유의차 검정은 분산분석을 한 후 5% 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

결과 및 고찰

초장, 엽장, 엽폭 및 생체중은 대조구에 비해 JA 및 염처리구에서 저조하였으며, JA처리구, JA+NaCl 혼용처

Table 1. The effect of the JA and NaCl combination on the growth of spearmint (*M. spicata*) grown in modified Hoagland solution for 3 weeks.

Treatment	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Fresh weight (g/plant)		Dry matter (%)	
				Shoot	Root	Shoot	Root
Control	40.31 a[z]	6.04 a	3.09 a	37.98 a	9.49 a	3.62 c	5.12 c
JA[y]	37.25 ab	6.51 a	3.04 a	34.37 a	7.42 a	4.93 b	8.96 a
JA+NaCl[x]	35.38 b	5.21 b	2.76 bc	26.17 ab	7.38 a	6.55 a	8.97 a
NaCl[w]	34.51 b	4.49 b	2.49 c	24.88 ab	8.37 a	4.68 c	6.33 b

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.
[y]Pretreatment of 20μM methyl jasmonic acid into the root part for 24hrs before the 3 weeks culture.
[x]50mM NaCl mixed with the modified Hoagland solution for 3 weeks after JA pretreatment.
[w]50mM NaCl mixed with the modified Hoagland solution for 3 weeks.

리구, NaCl 처리구 순으로 감소하였다(Table 1). 특히 염 처리구의 생육이 현저히 억제되었다. 한편 지상부와 지하부 건물중은 모든 처리구에서 증가하였고, 특히 JA+NaCl 처리구에서 가장 뚜렷하게 증가하여 JA나 NaCl 처리에 의해 식물체내 조직이 치밀해진 것으로 판단되었다. 염에 대한 내성은 식물종에 따라 다른데(Baik와 Chiang, 2011; Parida와 Das, 2004; Shim 등, 2012) 배추의 경우 저농도의 염처리는 오히려 생장을 촉진시켜 생장 기간을 단축시키고(Kim 등, 2010), 콩과식물인 *Alhagi pseudoalhagi* 역시 50mM NaCl 처리시 무게가 증가하였다는 보고(Kurban 등, 1999)가 있으나 스피아민트의 경우 염처리는 생육을 저하시키는 것으로 나타났다. JA처리에 대한 연구결과를 보면 Moons 등(1997)은 JA가 벼의 내염성과 관련이 있다고 하였고, Yilmaz 등(2003)은 건조 스트레스에 노출된 개화한 딸기에 JA 0.5-1mM 처리시 딸기의 성숙 및 산출량이 증가하였다고 보고한 바 있다. 본 실험에서도 생육이 저조한 염처리구에 비해 JA 혼용처리구의 건물중이 증가하는 효과를 확인할 수 있었다.

엽록소 함량은 염처리구에서는 감소하였으나 JA 처리구는 대조구의 2.4배로 총 엽록소 함량이 증가하였고, 엽록소 a와 b의 함량도 대조구의 2.15배, 3.04배로 높았다(Fig. 1). 엽록소 a/b의 비율은 대조구는 3.09, JA 처리구는 2.19, JA+NaCl 혼용처리구는 2.64, NaCl 처리구는 2.57로 나타났는데, JA 처리구의 경우 엽록소 a/b의 비율이 가장 낮아 다른 처리구들에 비해 엽록소 b의 증가가 뚜렷하였던 것을 알 수 있었다. 일반적으로 잎의 엽록소는 염 조건에서 감소하거나(Greenway와 Munns, 1980; Kim 등, 2010) 또는 일시적으로 증가한다는 보고(Kang과 Shim, 1998) 등이 있는데, 스피아민트는 감소하는 경향이었다. JA처리는 카로티노이드 함량을 높이고(Perez 등, 1993), 염에 의한 광합성 효율 저하를 억제한다는 보고(Tsonev 등, 1998)를 고려할 때 스피아민트도 JA 처리에 의해 엽록소 함량이 증가한 것으로 보인다.

비타민 C는 중요한 내적 품질 및 영양학적 요소이며, 천연 항산화물질로 작용한다. 스피아민트의 비타민 C 함량은 JA 및 NaCl 처리구에서 증가하였으며, 그중 NaCl 처리구가 대조구 함량의 1.3배로 가장 높았다(Fig. 2). Wang(1999)은 딸기에 JA 전처리를 하면 건조 스트레스에서 나타나는 비타민 C의 저하를 막을 수 있다고 하였고, Park 등(1999)은 japanese mint의 전이온 농도와 질소형태를 달리하여 수경 재배를 했을 때 비타민 C의 함량 또한 대체적으로 생육 상태가 좋고 엽록소 함량이 높았던 처리구에서 높았다고 보고하였다. 본 실험 결과에서도 엽록소 함량이 가장 높았던 JA 처리구는 대조구보다 비타민 C 함량이 증가하였으며, 한편 생육과 엽록소 함량이 낮았던 NaCl 처리구에서 비타민 C 함량이 유의적으로 가장 높게 나타난 결과를 통해 저농도의 염스트레스 처리에 의한 항산화 물질의 증진 가능성을 확인할 수 있었다.

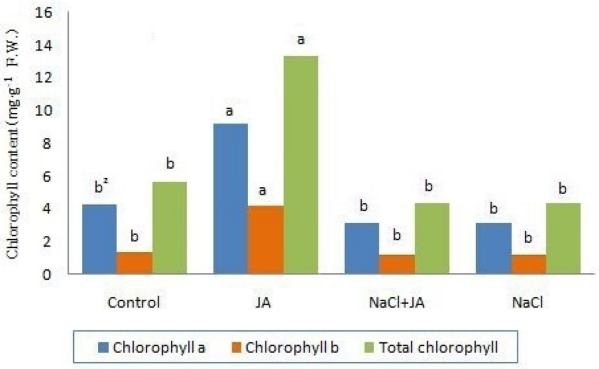

Fig. 1. The effect of the JA and NaCl combination on the chlorophyll content of spearmint (*M. spicata*) grown in the modified Hoagland solution at the 14th day after treatment (JA; pretreatment of 20μM methyl jasmonic acid into the root part for 24 hrs before the 3 weeks culture, JA + NaCl; 50mM NaCl mixed with the modified Hoagland solution for 3 weeks after JA pretreatment, NaCl; 50mM NaCl mixed with modified Hoagland solution for 3 weeks).
[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

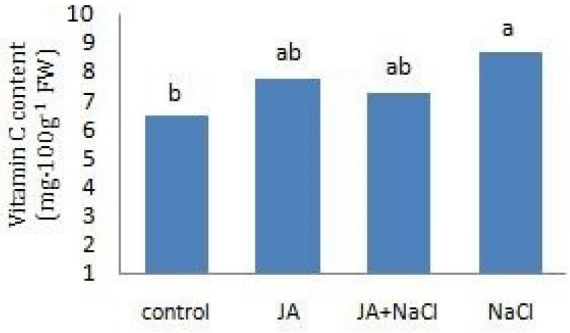

Fig. 2. The effect of the JA and NaCl combination on vitamin C of spearmint (*M. spicata*) grown in the modified Hoagland solution at the 14th day after treatment (JA; pretreatment of 20μM methyl jasmonic acid into the root part for 24 hrs before the 3 weeks culture, JA + NaCl; 50mM NaCl mixed with the modified Hoagland solution for 3 weeks after JA pretreatment, NaCl; 50mM NaCl mixed with modified Hoagland solution for 3 weeks).
[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

스피아민트의 전질소 및 이온 함량을 분석한 결과 전질소 함량은 대조구에 비해 염처리구와 JA처리구에서 증가하였다(Table 2). Na^+ 함량은 염 처리구에서 유의하게 증가하여 NaCl 단독 처리구는 대조구의 10.2배로 증

Table 2. The effect of the JA and NaCl combination on the cation contents of spearmint (*M. spicata*) grown in the modified Hoagland solution for 3 weeks.

Treatment	Total N (% D.W.)	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+/Na^+
		($mg \cdot g^{-1}$ D.W.)				
Control	3.14 b[z]	0.93 b	8.36 a	11.35 a	2.31 b	9.02
JA[y]	3.64 a	0.53 b	9.26 a	9.03 b	2.04 b	17.47
JA + NaCl[x]	3.37 ab	15.70 a	8.44 a	12.98 a	3.64 a	0.53
NaCl[w]	3.64 a	9.48 a	9.24 a	7.77 b	2.19 b	0.97

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.
[y]Pretreatment of 20 μM methyl jasmonic acid into the root part for 24 hrs before the 3 weeks culture.
[x]50 mM NaCl mixed with the modified Hoagland solution for 3 weeks after JA pretreatment.
[w]50 mM NaCl mixed with the modified Hoagland solution for 3 weeks.

가하였고, JA와 NaCl 혼용처리구는 대조구의 16.9배로 증가하여 NaCl 단독처리보다 혼용처리시 Na^+의 축적이 가중됨을 알 수 있었다. K^+는 식물체내 이온 흡수 시 Na^+와의 길항관계 때문에 염 스트레스 하에서는 상대적으로 흡수가 저하된다고 알려져 있으나(Greenway와 Munns, 1980; Grattan와 Grieve, 1999) 본 실험에서는 유의한 감소는 없었다. Ca^{2+}와 Mg^{2+}의 함량은 염 처리구에서 낮았으나 JA 혼용처리 시 증가하였다. K/Na 비율은 식물체내 이온 균형 정도를 통해 단백질 대사를 가늠할 수 있는 중요한 척도인데(Helal과 Mengal, 1979) 대조구에 비하여 JA처리구의 K/Na 비율이 높았고, 염 처리구와 JA+NaCl 혼용처리구의 K/Na 비율은 Na^+ 함량 증가로 인하여 감소하였다. 대부분의 작물들은 염 스트레스 시 식물체내 유해한 Na^+ 함량이 증가됨에 따라 길항관계에 있는 K^+흡수가 억제되어 필수 영양소 결핍으로 생장이 저해될 수 있는데(Lopez와 Satti, 1996) 본 실험 결과 염처리구의 Na^+의 흡수는 대조구에 보다 증가하였으나 K^+와 Mg^{2+} 함량은 대조구와 비슷하였고, Ca^{2+}함량이 유의적으로 감소하였다.

염류 저항성의 지표로 이용되는 프롤린은 식물체가 수분 부족, 염 스트레스 상황에 처하면 식물체내 동화산물인 glutamic acid가 유리 프롤린으로 전환되어 삼투조절제 역할을 하게 된다(Choung 등, 2003). 본 실험에서 지상부 프롤린의 함량은 NaCl 단독 처리 시 대조구에 비해 3.2배로 가장 많이 증가하였고, JA+NaCl 혼용처리구 역시 증가하였다(Table 3). Munns 등(2006)도 염 스트레스에 노출된 식물은 잎의 water potential이 줄어들고, 효소 활성 감소 및 이온의 불균형이 일어나 생장이 억제되고, 프롤린 등 식물체 내 삼투조절제의 축적 등이 일어난다고 하였다. 한편, 지하부 뿌리의 프롤린 함량은 대조구에 비해 감소하였다. 이러한 지상부와 지하부의 상이한 결과는 프롤린이 염 스트레스 처리로 인하여 직접적으로 생성 되는 물질이 아니라, 식물체가 스트레스 상황에서 광합성 산물인 glutamic acid가 proline으로 전환되어 나타나는 이차적 생성물질이기 때문에(Singh 등, 1972) 뿌리의 경우 잎과는 다른 경향이 나타났던 것으로 생각된다. Shin 등(2004)도 벼의 염처리 후 잎과 뿌리에서 프롤린을 포함한 아미노산 함량과 단백질 함량의 차이를 측정하였는데, 그 결과 뿌리보다는 잎에 축적되는 프롤린이 내염성에 관련될 가능성이 크다고 하였으며, 본 실험 역시 지하부 프롤린 함량보다는 지상부 프롤린 함량이 염 또는 JA 조합 처리의 영향을 받았던 것으로 생각된다. 또한 담배식물에서 일정 농도 이상의 염에서는 프롤린 함량이 오히려 감소하였다는 보고(Lee 등, 1998)와 같이 염에 직접 노출된 뿌리에서는 오히려 프롤린 함량이 낮아진 것으로 생각되었다.

Table 3. The effect of the JA and NaCl combination on the proline of spearmint (*M. spicata*) grown in the modified Hoagland solution for 3 weeks.

Treatment	Proline ($\mu mol \cdot g^{-1}$ D.W.)	
	Shoot	Root
Control	40.05 b[z]	12.54 a
JA[y]	47.99 b	9.36 b
JA + NaCl[x]	111.21 a	2.88 c
NaCl[w]	129.73 a	12.01 a

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.
[y]Pretreatment of 20μM methyl jasmonic acid into the root part for 24 hrs before the 3 weeks culture.
[x]50 mM NaCl mixed with the modified Hoagland solution for 3 weeks after JA pretreatment.
[w]50 mM NaCl mixed with the modified Hoagland solution for 3 weeks.

DPPH 라디컬 소거법을 이용한 항산화 활성 측정 결과 잎의 경우 항산화 활성은 81~90%의 비교적 높은 활성을 나타내었는데, 처리구별로는 NaCl 단독 처리 시 가장 활성이 높았다(Fig. 3). 줄기는 처리구간의 차이는 거의 없었으며, 뿌리는 항산화 활성 정도가 29%~73%로 차이가 컸는데 그중 NaCl 처리구가 잎과 마찬가지로 가

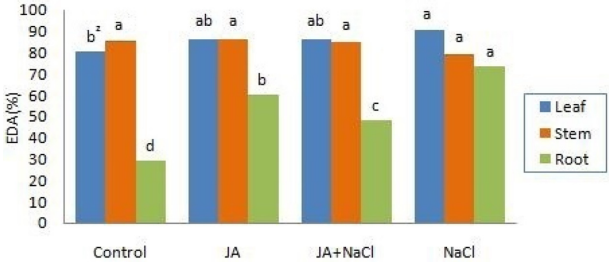

Fig. 3. The effect of the JA and NaCl combination on DPPH radical scavenging activity of spearmint (*M. spicata*) grown in the modified Hoagland solution at the 14th day after treatment (JA; pretreatment of 20μM methyl jasmonic acid into the root part for 24 hrs before the 3 weeks culture, JA + NaCl; 50 mM NaCl mixed with the modified Hoagland solution for 3 weeks after JA pretreatment, NaCl; 50 mM NaCl mixed with modified Hoagland solution for 3 weeks).
[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

장 높은 항산화 활성을 나타냈고, JA처리구도 항산화활성이 증가하였다. 꿀풀과 민트류의 항산화 능력은 주로 페놀성분에 기인한다(Cao와 Cao, 1999). JA는 ABA와 비슷한 노화 촉진 호르몬인 동시에 스트레스 상황에서는 방어체계를 자극하는 신호전달 역할로 작용하며 (Raghavendra와 Bhaskar Reddy, 1987), 염 스트레스도 산화적 스트레스를 유발시켜서 활성 산소종을 증가시키고, 식물은 이를 제거하기 위한 항산화 방어 시스템을 가동시켜 항산화 효소나 항산화 물질들을 생성시킨다(Alscher 등, 2002). Tounekti 등(2010)은 건조나 염에 비교적 내성을 가진 로즈마리의 경우 염농도가 증가될수록 잎의 수분 함유량과 광합성 효율은 떨어진 반면, 항산화 물질인 α-tocopherol과 malondialdehyde는 증가된다고 발표하는 등 본 실험 결과와 유사한 결과들을 확인할 수 있다.

JA 및 저농도의 염처리 시 나타나는 스피아민트의 생장 반응 및 무기이온, 프롤린, 항산화활성 등을 살펴본 결과 염 스트레스 처리는 생육 저하를 초래하였으나 비타민 C와 항산화 활성 등의 증가와 지상부의 프롤린 함량 증가가 뚜렷하였다. JA 처리구는 뚜렷한 엽록소 함량 증가와 함께 비타민 C 함량의 증가가 나타났다. 한편 JA와 NaCl의 혼용처리의 효과를 보면 생육이 저하되었던 NaCl 처리구에 비해 건물률이 증가하고, Ca, Mg 등의 무기이온 흡수가 증가하여 염 스트레스를 완화시키는 효과가 있는 것으로 나타나 스트레스 하에서의 허브의 품질 향상 가능성을 보여주었다. 하지만 혼용처리 시 가중되는 Na의 함량 증가 및 지상부 프롤린 함량의 증가로 미루어 염처리에 따른 항산화 물질 증가는 조금 더 낮은 농도의 염처리가 적합할 것으로 판단되었고, 상품가치를 고려한 안정적인 생장을ff 위해서는 세분화된 추후 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

초 록

본 연구는 NaCl 및 jasmonic acid(JA) 처리 시 스피아민트(*Mentha spicata*)의 생육 및 생리적 반응 변화를 조사하고자 실시하였다. 대조구, JA(20μM JA 전처리), JA+NaCl(20μM JA 전처리+ 50mM NaCl), NaCl(50mM NaCl) 처리 등 4처리구로 구분하여 0.5배 Hoagland 용액에서 3주간 수경 재배한 후 생장반응과 엽록소, 비타민 C, 프롤린, 무기물, DPPH 라디칼 소거 항산화 활성 등을 측정하였다. 스피아민트의 초장, 엽장, 엽폭 및 생체중은 대조구에 비해 모든 처리구에서 감소하였고, 특히 NaCl 처리구에서 현저히 감소하였다. 반면에 건물중은 JA+NaCl 혼용처리구를 비롯하여 모든 처리구에서 증가하였다. 엽록소 a와 b 함량은 JA 처리구가 가장 높았으나 비타민 C와 항산화 활성 및 지상부의 프롤린 함량은 염 스트레스로 생육이 가장 낮았던 NaCl 처리구에서 가장 높게 나타났다. 이온 흡수의 균형 정도를 알 수 있는 K/Na 비율은 JA 단독 처리 시 증가하였고, NaCl 처리 및 JA+NaCl 혼용 처리구에서는 Na^+ 흡수 증가로 인하여 K/Na 비율이 낮아졌다. 이러한 결과는 낮은 염 스트레스나 JA처리 같은 적절한 스트레스 처리가 항산화 활성과 정유를 포함하는 이차대사물질의 축적을 유도함으로써 스피아민트의 품질을 향상시킬 잠재적인 가능성을 보여준다.

추가 주요어: 항산화능, 허브, 프롤린, 염 스트레스, 비타민 C

사 사

본 연구는 2017학년도 서울여자대학교 교내학술연구비 지원을 받았음.

Literature Cited

Alscher, R.G., N. Erturk, and L.S. Heath. 2002. Role of superoxide dismutase(SODs) in controlling oxidative stress in plants. J. Exp. Bot. 53:1331-1341.

Baik, J.A. and M.H. Chiang. 2011. Effects of different soil on the growth of *Salicornia herbacea*. J. Bio-Environ. Cont. 20:216-220.

Baik, J.A., Y.H. Baek, and M.H. Chiang. 2009. Phenol contents of solvent extraction in several domestic *Thymus Quinquecostatus* Celak. J. Bio-Environ. Cont. 18:468-474.

Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. J. Plant and Soil 39:205-207.

Blois, M.S. 1958. Antioxidant determination by the stable free

radical. Nature 26:1198-1204.
Cao, Y.H. and R.H. Cao. 1999. Angiogenesis inhibited by drinking tea. Nature 398:381-384.
Choudhury, P., R. Kumar, and A.N. Grag. 2006. Analysis of Indian mint (*Mentha spicata*) for essential, trace and toxic elements and its antioxidant behavior. J. Pharm. Biomed. Anal. 41:825-832.
Choung, J.I., K.Y. Kim, D.H. Choi, M.K. Oh, S.Y. Lee, and D.J. Lee. 2003. Growth responses and proline acculmulation by salt treatment in rice cultivars. Kor. J. Intl. Agri. 15(4):288-293.
Delfine, S., F. Loreto, P. Pinelli, R. Tognetti, and A. Alvino. 2005. Isoprenoid content and photosynthetic limitations in rosemary and spearmint plants under water. Agri. J. Ecosys. Environ. 106:243-252.
Grattan, S.R. and C.M. Grieve. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Sci. Hort. 78:125-157.
Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31:149-190.
Gundlach, H., M.J. Muller, T.M. Kutchan, and M.H. Zenk. 1992. Jasmonic acid is a signal transducer in elicitor-induced plant cell cultures. Proc. Natl. Acad. Sci. 89:2389-2393.
Helal, H. M. and K. Mengal. 1979. Nitrogen metabolism of young barley plantsas affected by NaCl-salinity and potassium. J. Plant and Soil 51:457-462.
Hoagland, R.D. and D.I. Aron. 1950. The water culture for growing plants without soil. California Agr. Exp. Stn. Sire. p 347.
Inskeep, W.P. and P.R. Bloom. 1985. Extinction coefficients of chlorophyll concentration a and b in N,N-dimethlformamide and 80% aceton. J. Plant Physiol. 77:483-485.
Kang, B.H. and S.I. Shim. 1998. Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique for saline stress. 1. Survey of vegetation in saline region and determination of saline tolerance of the plant species of the region. Kor. J. Environ. Agri. 17:26-33.
Kim, J.S., I.S. Shim, and M.J. Kim. 2010. Physiological responses of Chinese cabbage to salt stress. Kor. J. Sci. Technol. 28:343-352.
Kivilomopolo, M. and T. Hyotylainen. 2007. Comprehensive two-dimension liquid chromatography in analysis of Lamiaceae herbs: Characterization and quantification of antioxidant phenolic acids. J. Chromatography A. 1145:155-164.
Kurban, H., H. Saneoka, K. Nehira, R. Adilla, G.S. Premachandra, and K. Fujita. 1999. Effects of salinity on growth, photosynthesis and mineral compositon in Leguminous plant Alhagi pseudoalhagi (Bieb.). Soil Sci. Plant Nutr. 45:851-862.
Lee S.G., J.S. Shin, Y.S. Seok, and G.K. Bae. 1998. Effects of salt stress on photosynthesis, free proline content and ion content on tobacco. Kor. J. Environ. Agri. 17:215-219.
Lopez, M.V. and S. M. E. Satti. 1996. Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. Plant Sci. 114:19-27.
Madsen, H.L. and G. Bertelsen. 1995. Spices as antioxidants. Trends Food Sci. Technol. 6:271-277.
Moons, AE., E. Prisen, G. Bauw, and M. Van Montagu. 1997. Antagonistic effects of abscisic acid and jasmonates on salt stress-inducible transcripts in rice roots. Plant Cell 9:2243-2259.
Munns, R., R.A. James, and A. Lauchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat ant other cereals. J. Exp. Bot. 57:1025-1043.
National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST). 2000. analysis method of soil and plant. NIAST, Suwon.
Ohita H., K. Shidae, Y.L. Peng, I. Furusawa, S. Aibra, and Y. Morita. 1991. A lipoxygenase pathway is activated in rice after infection with the rice blast fungus *Magnaporthe grisea.* J. Plant Physiol. 9:94-98.
Parida, A.K. and A.B. Das. 2004. Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in a true mangrove *Bruguiea parviflora* grown under hydroponic culture. J. Plant Physiol. 161:921-928.
Park, K.W., J.H. Jeoung, and M.J. Lee. 1999. Effect of solution concentration and nitrogen form on the content of internal quality of Japanese mint grown in hydroponics. Hort. Environ. Biotechnol. 40:341-344.
Perez, A.G., C. Sanz, D.G. Richardson, and J.M. Olias. 1993. Metyl jasmonate vapor promotes β–carotene synthesis and chlorophyll degradation in Golden Delicious apple peel. J. Plant Growth Regul. 12:163-167.
Raghavendra, A.S. and K. Bhaskar Reddy. 1987. Action of proline on stomata differs from that of absicisic acid, G-substraces, or methyl jasmonate. J. Plant Physiol. 83:732-734.
Ross, J.D. and C. Sombrero. 1991. Environmental control of essential oil production in Mediterranean plants. In: Harbone, J.B. and F.A. Thomas-Barberan. (EDs.). Ecological Chemistry of Plant Terpenoids. Clarendon Press. Oxford. UK. pp. 83-84.
Shim, M.S., Y.J. Kim, C.H. Lee, and C.H. Shin. 2012. Salt tolerance of various native plants under salt stress. J. Bio-Environ. Cont. 21:478-484.
Shin, S.H., Y.M. Lee, and B.H. Cho. 2004. Amino acid and protein contents in the seedlings of salt-tolerant and salt-susceptible rice. Kor. J. Breed. Sci. 36:320-325.
Singh, T.N., D. Aspinall, and L.G. Paleg. 1972. Proline accumulation and varietal adaptavity to drougt in bareley: A potential metabolic measure of drougth resistance. Nature 236:188-190.
Tounekti, T., A.M. Vandel, M. Onata, H. Khemira, and S. Munne-Bosch. 2010. Salt-induced oxidative stress in rosemary plants: Damage or protection? Environ. Exp. Bot. 8:284-296.
Tsonev, T.D., G.N. Lazova, Z.G. Stoinova, and L.P. Popova.

1998. A possible role for jasmonic acid in adaptation of barley seedling to salinity stress. J. Plant Growth Regul. 17:153-159.

Wang, C.Y. 1999. Methyl jasmonate reduces water stress in strawberry. J. Plant Growth Regul. 18:127-134.

Wang, S.Y., H.J. Jiao, and M. Faust. 1991. Changes in ascorbate, glutathione, and related enzyme activities during thidiazuron induced bud break of apple. Physiol. Plant. 82:231-236.

Yilmaz, H., K. Yildiz, and F. Muradoglu. 2003. Effect of jasmonic acid on yield and quality of two strawberry cultivars. J. Amer. Pomol. Soc. 57:32-35.