

Alleviating Effect of Salicylic Acid Pre-treatment on Soil Moisture Stress of Waxy Corn

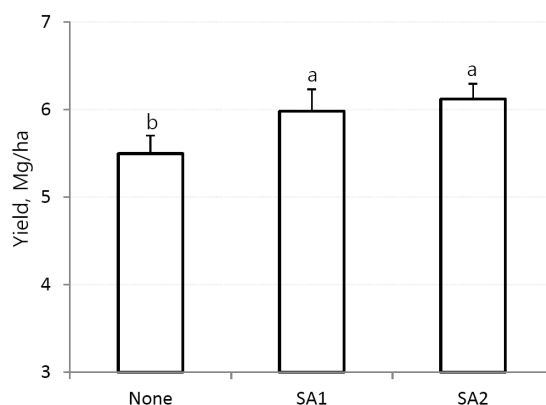
Youngho Seo*, Sihwan Ryu, Jongyeol Park, Jaekeun Choi, Kijin Park, and Kyunghi Kim

Gangwon Agricultural Research & Extension Services, Hongcheon 250-823, Korea

(Received: December 4 2014, Revised: June 26 2015, Accepted: June 26 2015)

Soil moisture shortage can reduce yield of waxy corn because maize is one of the sensitive crops to the drought stress. Farmers cannot irrigate due to limited water resource and irrigating facilities although applying water is the most effective practice to solve the drought problem. The study was conducted to investigate the pre-treatment effect of salicylic acid on reducing drought damage of waxy corn (*Zea mays* L.). Salicylic acid at concentration of 0.2 mM was applied at seven-leaf stage or ten-leaf stage three times. Drought stress was imposed by withholding irrigation from 11 days before anthesis to 10 days after anthesis. Application of salicylic acid significantly increased ear length by 11.0~12.3% and yield by 8.8~11.3% compared with non-treated control, indicating that the drought injuries of waxy corn can be alleviated through pre-treatment of salicylic acid at the vegetative stage.

Key words: Drought stress, Salicylic acid, Waxy corn



Yield of waxy corn treated by foliar application of salicylic acid (SA). SA1 and SA2 denote pre-treatment of salicylic acid at 7-leaf and 10-leaf stage, respectively. Error bars indicate standard deviation.

Introduction

기후변화에 따라 강수량의 시간적·공간적 변동성이 커지므로, 가물거나 폭우에 의한 피해 위험도가 높아질 것이다 (NIMR, 2011). Ault et al. (2014)은 가뭄이 장기간 지속될 위험이 높아질 것으로 예측하였으며, 한 예로 미국 남서부 지방에서 10년 이상 가뭄이 지속될 위험이 최소 80%이고, 35년 이상 계속될 가능성이 20~50%, 50년 이상의 가뭄 위험은 5~10%라고 하였다. 우리나라에서 옥수수 재배에 필요한 물의 양은 생육 초기에 하루 평균 2.02 mm, 신장기 3.41 mm, 중기 4.41 mm, 후기 3.48 mm, 말기 3.01 mm이다 (Eom et al., 2013). 2014년 6월에 우리나라의 강수량은 77.6 mm (하루 평균 2.6 mm)로 평년 158.6 mm의 49%에 불과하였다.

1950년대에 Robins and Domingo (1953)는 옥수수 개화기의 한발이 다른 생육 단계보다 수량 감소에 대한 영향이 크다고 하였으며, 이후 Claasen and Shaw (1970)는 출사 전과 출사기의 한발로 수량이 각각 15%와 53% 줄었고, 출사 후 3주 동안 한발 피해를 받으면 30% 감소한다고 하였다. Shaw (1976)는 옥수수가 한발에 가장 민감한 시기는 출수 7일 전부터 15일 후까지로, 다른 시기에 비해 수량 감소폭이 2~3배에 이른다고 하였다. NeSmith and Ritchie (1992)는 출수 직전부터 알곡에 양분이 채워지기 시작할 때까지 가물면 수량은 최고 90% 감소하고 불임율은 77%에 이른다고 하였다. 수분이 부족하면 옥수수의 잎과 수염의 생장이 저하되고, 엽면적의 감소로 광합성에 필요한 빛을 덜 받게 되며 출수-출사기의 간격이 벌어진다 (Aslam, 2011). 또한 무기 양분의 흡수와 이동, 분배가 불량해지고, 기공이 닫혀서 잎의 온도가 높아지며, 기체 교환이 순조롭게 되지 않아 이산화탄소 분압이 낮아져서 광합성이 저하되어 옥수수 수량이 줄게 된다 (Aslam, 2011). 2012년 가뭄으로 미국의 옥수수 수량은 ha당 7.6톤으로 24% 낮아진 것으로 추정되며 (Al-Kaisi et al., 2013), 아프리카에서는 가뭄으로 옥수수 수량이 최대 70% 감소된다 (Ashraf, 2010).

관개가 한발 피해를 줄이는 데 가장 효과적이거나, 제한된 물 자원과 관개 비용 등으로 관개를 할 수 없는 경우가 많다 (Cakir, 2004). 여러 생장조절제를 처리하여 옥수수의 가뭄 스트레스를 줄이는 연구들이 계속되어 왔는데, 그 예로 살리실산 (Amin et al., 2013; Kadioglu et al., 2011; Rao et al., 2012; Saruhan et al., 2012; Tufail et al., 2013; Zamaninejad et al., 2013), 엡시식산 (de Souza et al., 2013), 지베렐린, 사이토키닌 (Akter et al., 2014), 코로나틴 (Wang et al., 2008), 글라이신베타인 (Anjum et al., 2011), 트레할로즈 (Ali and Ashraf, 2011), 브라시노라이드 (Anjum et al., 2011), 티오우레아 (Amin et al., 2013), L-트립토판 (Rao et al., 2012), 규소 (Zargar and Agnihotri, 2013) 등이 있다. 이러한 물질들을 종자에 처리하거나 잎에 살포하면 수분 부족 스트레스에 의한 생장 저해를 낮추어주고,

광합성과 잎 면적, 건물 생산을 높여주는 것으로 알려져 있다 (Elwana and El-Hamahmyb, 2009). Kadioglu et al. (2011)과 Saruhan et al. (2012)은 살리실산 1 μM 을 세 차례 처리하였을 때 한발 스트레스를 줄였다고 하였으며, Rao et al. (2012)은 100 mg L^{-1} (0.72 mM 상당)과 L-트립토판 15 mg L^{-1} 를 같이 처리하였을 때 가장 효과적이었다고 하였다. Amin et al. (2013)은 살리실산 200 mg L^{-1} (1.45 mM 상당)의 농도가 가장 효과가 좋다고 보고하였으며, Zamaninejad et al. (2013)은 1 mM이 가장 처리 효과가 높았다고 하였다. Seo et al. (2014)은 여러 생장조절제 가운데 비교적 값이 싸고 실용화하기 쉬운 살리실산과 엡시식산이 찰옥수수의 한발 스트레스를 얼마나 줄일 수 있는지 검토한 결과 한발 처리 중인 개화기에 이들 생장조절제를 한 차례 처리하면 가뭄피해 경감 효과가 없음을 보고하였으며, 한발 전에 처리하거나 저농도로 여러 번 처리할 것을 제안하였다.

따라서 본 연구에서는 살리실산 처리의 시기와 회수를 달리하여 살리실산의 찰옥수수 한발 피해 경감 효과를 검토하였다. 즉, 옥수수가 가뭄 피해에 가장 민감한 개화기에 한발 처리를 하였으며, 그 이전인 영양생장기에 살리실산을 3회 처리하여 그 가뭄 피해 경감 효과를 처리하지 않은 대조구와 비교하여 살펴보았다.

Materials and Methods

본 연구는 강원도농업기술원 옥수수연구소 (강원도 홍천군, N 37°53'56" E 128°02'19")의 연동형 플라스틱 하우스에서 수행되었으며, 토양은 홍천토 (sandy skeletal, mesic family of Typic Udipsamments)으로 사양토였다. 본 연구에 쓰인 찰옥수수의 품종은 미백2호 (중생종)였으며, 2014년 4월 29일에 파종하였다. 비료 시용량은 N-P₂O₅-K₂O가 158-30-63 kg ha^{-1} 였으며, 질소는 밀거름과 웃거름 (7엽기)을 50:50으로 나누어 사용하였고, 인산과 칼리는 수피 퇴비 (1,000 kg 10a^{-1})와 함께

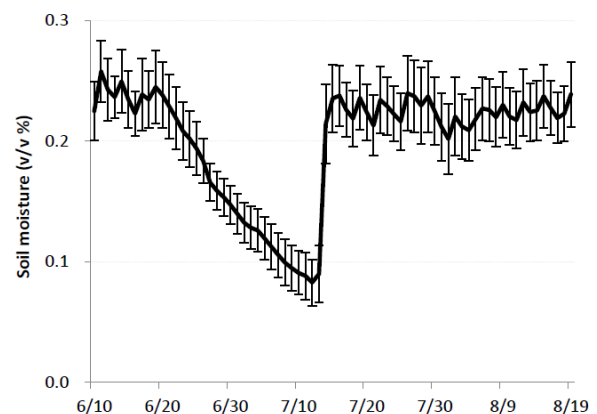


Fig. 1. Change in soil moisture content during the experimental period. Irrigation was withdrawn from June 21 to July 12. Error bars indicate standard deviation.

전량 밀거름으로 주었다. 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였으며, 각 시험구의 면적은 21 m²였다.

출수기 (7월 2일)의 11일 전인 6월 21일부터 관개를 중단하여 한발 처리를 시작하였으며, 출수 후 11일인 7월 13일에 다시 관개를 하였다. 국제 옥수수 밀 연구소 (CIMMYT)에서 한발에 강한 품종을 육성할 때 처리하는 한발은 개화기 10~21일 전부터 관개를 중단하는 보통 수준의 한발 (IS)과 개화기 21~35일 전부터 중단하는 극심한 한발 (SS)이 있는데 (Heisey and Edmeades, 1999), 본 실험에서의 한발 처리는 보통 수준의 한발 처리에 해당한다. 토양 수분 센서 (Decagon, USA)를 설치하여 토양 수분 함량을 측정하였는데, 한발 처리에 의해 수분 함량이 부피 기준으로 8.3%까지 떨어졌다 (Fig. 1).

살리실산의 처리 효과를 검토하기 위하여 영양생장기인 7엽기와 10엽기에 살리실산을 처리하였으며, 처리하지 않은 구를 대조구로 두었다. 옥수수를 재배할 때 보통 7엽기는 옷거름을 사용하는 시기이며, 10엽기는 살충제를 처리하는 시기이다. 처리 농도는 0.2 mM이었으며, 3일 간격으로 3회 처리하였다.

한 시험구 내에서 전 개체의 약 50%가 출수 또는 출사되는 때를 각각 출수기와 출사기로 하였으며, 이로부터 파종기로부터 출수기 또는 출사기까지의 일수인 출수일수와 출사일수를 산출한 다음, 그 차이인 ASI (anthesis-silking interval, 출사일수-출수일수)를 계산하였다. 시험구당 15주의 간장, 착수고, 간경, 이삭장, 이삭경, 열수를 측정하였으며, 수량은 이삭중을 바탕으로 10a 단위로 환산하여 계산하였다. 모든 통계 분석은 SAS 프로그램 (ver. 9.2, SAS, Cary, NC)을 이용하였으며, 5% 수준에서 통계적 유의성을 검토하였다.

Results and Discussion

DuPlessis and Dijkhuis (1967)는 수분 스트레스는 옥수수 수염 생장을 지연시켜 ASI를 높인다고 하였다. 한발 처리를 했을 때 출수기와 출사기 사이의 간격 (ASI)은 5.3일이며, 살리실산 처리구는 5.0~5.3일로 유의한 차이는 보이지 않았다

Table 1. Anthesis-silking interval (ASI), plant height and ear height treated by foliar application of salicylic acid (SA). SA1 and SA2 denote pre-treatment of salicylic acid at 7-leaf and 10-leaf stage, respectively.

Treatment	ASI [†]	Plant height	Ear height
		cm	cm
None	5.3±0.6	200.2±7.7	119.6±4.0
Salicylic acid (SA1)	5.0±1.0	201.7±7.4	120.9±6.7
Salicylic acid (SA2)	5.3±1.0	204.8±7.8	116.6±1.7

[†]Mean±standard deviation.

(Table 1). Zamaninejad et al. (2013)은 0.5~1.0 mM의 살리실산을 한발 처리 전에 엽면 살포하여 ASI를 1.1일 줄였다고 하였으나, 본 연구에서는 Seo et al. (2014)의 결과에서와 같이 ASI에 대한 살리실산의 처리 효과는 없었다. 이는 품종간 반응 차이일 것으로 사료되나, 더 많은 품종을 대상으로 시험할 필요가 있다.

살리실산 처리구의 간장은 202~205 cm로 무처리의 200 cm와 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 1). Akter et al. (2014)과 Seo et al. (2014), Zamaninejad et al. (2013)은 한발 처리가 옥수수의 간장을 줄인다고 하였는데, 살리실산의 처리는 줄기 신장 억제에 대한 한발 피해를 줄이는데 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 착수고 또한 117~121 cm로 무처리의 120 cm와 차이가 없었다. Seo et al. (2014)은 찰옥수수의 착수고는 한발의 영향을 받지 않는다고 하였다.

살리실산 처리의 이삭장은 16.2~16.4 cm로 무처리에 비해 11.0~12.3% 길었다 (Table 2). Seo et al. (2014)은 살리실산을 한발 처리 동안에 처리하였을 때 이삭장에 대한 효과가 없었다고 하였는데, 관수 중단 이전에 처리하면 효과가 있는 것으로 보인다. Zamaninejad et al. (2013) 또한 살리실산을 한발 처리보다 먼저 하였을 때 이삭장이 1.7~2.9 cm 증가하였다고 하였다. 이삭경과 열수에 있어서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

살리실산을 영양생장기에 처리하였을 때의 옥수수 수량은 6.0~6.1 Mg ha⁻¹로 무처리의 5.5 Mg ha⁻¹에 비해 8.8~11.3% 증가하였다 (Fig. 2). 7엽기와 10엽기의 처리 시기 사이에는 큰 차이가 없었다. 가뭄에 의한 옥수수의 수량 감소는 출수 후 2~22일의 한발에 45% (Grant et al., 1989), 개화기 10~21일 전부터의 한발에 40~60% (Heisey and Edmeades, 1999)였다. Liu et al. (2004)과 Moghadam et al. (2011), Akter et al. (2014)은 가뭄에 의해 옥수수의 양분 흡수 및 전이가 변형되고, 광합성 동화산물의 공급이 줄어들어 수량이 줄어든다고 하였다. Zamaninejad et al. (2013)은 살리실산의 처리로 동화산물의 생산기관으로부터 축적·소비 기관으로의 전이가 활발해진다고 하였다. Miura and Tada (2014)는 살리실산을 처리하면 활성산소종, 과산화수소, 칼슘 이온의 축적이 일어나서 기공이

Table 2. Ear characteristics treated by foliar application of salicylic acid (SA). SA1 and SA2 denote pre-treatment of salicylic acid at 7-leaf and 10-leaf stage, respectively.

Treatment	Ear length [†]	Ear diameter	Row number
	cm	mm	
None	14.6±0.6b	39.6±1.2	13.0±0.4
Salicylic acid (SA1)	16.2±0.5a	39.9±0.6	13.3±0.4
Salicylic acid (SA2)	16.4±0.7a	41.0±1.2	13.0±0.1

[†]Mean±standard deviation. Treatments with same letter in each column are not significantly different at the 0.05 probability level.

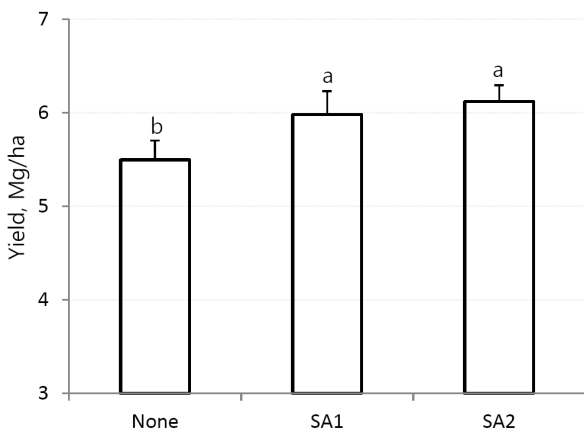


Fig. 2. Yield of waxy corn treated by foliar application of salicylic acid (SA). SA1 and SA2 denote pre-treatment of salicylic acid at 7-leaf and 10-leaf stage, respectively. Error bars indicate standard deviation.

달혀 가뭄 피해를 줄이며, Syeed et al. (2011)은 살리실산의 전처리하는 비생물화학적 스트레스 조건에서 광합성을 증가시킨다고 하였다.

Seo et al. (2014)은 살리실산을 개화기에 처리하였을 때 옥수수의 한발 피해 경감 효과가 없음을 보고하였으므로, 살리실산의 효과를 높이기 위해서는 영양생장기인 7엽기 또는 10엽기에 웃거름이나 살충제 등과 같이 처리하는 것이 좋을 것으로 사료된다. Akter et al. (2014)은 생장조절제의 처리 효과는 생식생장기보다 영양생장기에 처리하였을 때 더 높았다고 하였다. 한편, Moghadam et al. (2011)과 Sharafizad et al. (2012)은 한발 조건뿐만 아니라 수분이 부족하지 않을 때에도 살리실산의 수량 증대 효과가 있다고 하였다.

Conclusion

관수 설비가 갖추어지지 않거나 물 자원이 제한된 곳에서 찰옥수수의 한발 피해를 줄이고자, 생장조절제인 살리실산의 처리 효과를 살펴보았다. 출수기 11일 전부터 출수 후 10일까지 관수를 중단하였으며, 살리실산은 영양생장기인 7엽기 또는 10엽기에 3회 처리하였고, 살리실산의 처리 농도는 0.2 mM이었다. 살리실산의 처리구의 ASI, 간장, 착수고는 대조구와 큰 차이가 없었으나, 이삭장을 11.0~12.3% 증가하였으며 수량을 8.8~11.3% 증가시켰다. 살리실산의 처리 효과는 생식생장기보다 영양생장기에 뚜렷하므로, 7엽기 또는 10엽기에 살리실산을 처리하면 찰옥수수의 가뭄 피해를 줄일 수 있다.

References

Akter, N., M.R. Islam, M.A. Karim, and T. Hossain. 2014.

Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin. *J. Crop Sci. Biotech.* 17:41-48.

Ali, Q. and M. Ashraf. 2011. Induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) due to exogenous application of trehalose: growth, photosynthesis, water relations and oxidative defence mechanism. *J. Agron. Crop Sci.* 197:258-271.

Al-Kaisi, M.M., R.W. Elmore, J.G. Guzman, H.M. Hanna, C.E. Hart, M.J. Helmers, E.W. Hodgson, A.W. Lenssen, A.P. Mallarino, A.E. Robertson, and J.E. Sawyer. 2013. Drought impact on crop production and the soil environment: 2012 experiences from Iowa. *J. Soil Water Conserv.* 68:19A-24A.

Amin, A.A., A.A.A. El-Kader, M.A.F. Shalaby, F.A.E. Gharib, E.M. Rashad, and J.A.T. da Silva. 2013. Physiological effects of salicylic acid and thiourea on growth and productivity of maize plants in sandy soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 44:1141-1155.

Anjum, S.A., M. Farooq, L.C. Wang, L.L. Xue, S.G. Wang, L. Wang, S. Zhang, and M. Chen. 2011. Gas exchange and chlorophyll synthesis of maize cultivars are enhanced by exogenously-applied glycinebetaine under drought conditions. *Plant Soil Environ.* 57:326-331.

Ashlaf, M. 2010. Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotech. Advan.* 28:169-183.

Aslam, M. 2011. Assessment of Physiogenetic Traits for Drought Tolerance in Maize. VDM Verlag Dr. Muller. Saarbrucken, Germany.

Ault, T.R., J.E. Cole, J.T. Overpeck, G.T. Pederson, and D.M. Meko. 2014. Assessing the risk of persistent drought using climate model simulations and paleoclimate data. *J. Climate.* 27:7529-7549.

Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crop Res.* 89:1-16.

Claassen, M.M. and R.H. Shaw. 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agron. J.* 62:652-655.

de Souza T.C., P.C. Magalhaes, E.M. de Castro, P.E.P. de Albuquerque, and M.A. Marabesi. 2013. The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize hybrids with contrasting drought resistance. *Acta Physiol. Plant.* 36:515-527.

DuPlessis, D.P. and F.J. Dijkhuis. 1967. The influence of time lag between pollen shedding and silking on the yield of maize. *South African J. Agri. Sci.* 10:667-674.

Elwana, M.W.M. and M.A.M. El-Hamamyb. 2009. Improved productivity and quality associated with salicylic acid application in greenhouse pepper. *Sci. Hort.* 122:521-526.

Eom, K.C., S.H. Park, and S.Y. Yoo. 2013. Water requirement of maize according to growth stage. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46:16-22.

Grant, R.F., B.S. Jackson, J.R. Kiniry, and G.F. Arkin. 1989.

- Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agron. J.* 81:61-65.
- Heisey, P.W. and G.O. Edmeades. 1999. Maize Production in Drought-Stressed Environments: Technical Options and Research Resource Allocation. World Maize Facts and Trends 1997/98. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Mexico, D.F., Mexico. p68.
- Kadioglu, A., N. Saruhan, A. Saglam, R. Terzi, and T. Acet. 2011. Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. *Plant Growth Regul.* 64:27-37.
- Liu, F. C.R. Jensen, and M.N. Anderson. 2004. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set. *Field Crop Res.* 86:1-13.
- Miura, K. and Y. Tada. 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers Plant Sci.* 5:1-12.
- Moghadam N.M., M.J. Arvin, G.R.K. Nezhad, and K. Maghsoudi. 2011. Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. *Seed Plant Prod. J.* 27:41-55.
- National Institute of Meteorological Research (NIMR). 2011. Climate Change Scenario Report 2011. National Institute of Meteorological Research. Seoul, Korea. p117.
- NeSmith, D.S. and J.T. Ritchie. 1992. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield components of maize (*Zea mays* L.). *Field Crop Res.* 28: 251-256.
- Rao, S.R., A. Qayyum, A. Razzaq, M. Ahmad, I. Mahmood, and A. Sher. 2012. Role of foliar application of salicylic acid and L-tryptophan in drought tolerance of maize. *J. Animal Plant Sci.* 22:768-772.
- Robins, J.S. and C.E. Domingo. 1953. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. *Agron. J.* 45:618-621.
- Saruhan, N., A. Saglam, and A. Kadioglu. 2012. Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. *Acta Physiol. Plant.* 34:97-106.
- Seo, Y., K. Park, E. Chang, S. Ryu, J. Park, and K. Kim. 2014. Effect of salicylic acid and abscisic acid on drought stress of waxy corn. *Korean. J. Crop Sci.* 59:54-58.
- Sharafizad, M., A. Naderi, S.A. Siadat, T. Sakinejad, and S. Lak. 2012. Effect of salicylic acid pretreatment on yield, its components and remobilization of stored material of wheat under drought Stress. *J. Agric. Sci.* 4:115-125.
- Shaw, R.H. 1976. Water use and requirements of maize-a review. In *Agrometeorology of the Maize (Corn) Crop*. World Meteorological Organization No 481. pp119-134.
- Syeed, S. N. Anjum, R. Nazar, N. Iqbal, A. Masood, and N. Khan. 2011. Salicylic acid-mediated changes in photosynthesis, nutrients content and antioxidant metabolism in two mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Acta Physiol. Plant* 33:877-886.
- Tufail, A., M. Arfan, A.R. Gurmani, A. Khan, and A. Bano. 2013. Salicylic acid induced salinity tolerance in maize (*Zea mays*). *Pak. J. Bot.* 45:75-82.
- Wang B., Z. Li, A.E. Eneji, X. Tian, Z. Zhai, J. Li, and L. Duan. 2008. Effects of coronatine on growth, gas exchange traits, chlorophyll content, antioxidant enzymes and lipid peroxidation in maize (*Zea mays* L.) seedlings under simulated drought stress. *Plant Prod. Sci.* 11:283-290.
- Zamaninejad, M., S.K. Khorasani, M.J. Moeini, and A.R. Heidarian. 2013. Effect of salicylic acid on morphological characteristics, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) under drought condition. *Euro. J. Exp. Bio.* 3:153-161.
- Zargar, S.M. and A. Agnihotri. 2013. Impact of silicon on various agro-morphological and physiological parameters in maize and revealing its role in enhancing water stress tolerance. *Emir. J. Food Agric.* 25:138-141.