한작지(Korean J. Crop Sci.), 59(1): 54~58(2014)

ISSN 0252-9777(Print)
ISSN 2287-8432(Online)
DOI : http://dx.doi.org/10.7740/kjcs.2014.59.1.054

찰옥수수 한발 스트레스에 대한 살리실산과 앱시식산의 처리 효과

서영호† · 박기진 · 장은하 · 류시환 · 박종열 · 김경희

강원도농업기술원 옥수수연구소

Effect of Salicylic Acid and Abscisic Acid on Drought Stress of Waxy Corn

Youngho Seo†, Kijin Park, Eunha Chang, Sihwan Ryu, Jongyeol Park, and Kyunghi Kim

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

ABSTRACT Climate change may result in greater risk of yield reduction of waxy corn due to drought stress and maize is one of the sensitive crops to the soil moisture shortage. While irrigation is the most effective practice to reduce the drought damage, farmers are unable to apply water due to limited water resource and irrigating facilities. The study was conducted to investigate the application effect of salicylic acid and abscisic acid on reducing drought stress of waxy corn (*Zea mays* L.). Drought stress was imposed by withholding irrigation from 9 days before anthesis to 14 days after anthesis. Salicylic acid or abscisic acid was applied on tasseling date at concentration of 0.5 mM and 0.1 mM, respectively. Drought stress increased anthesis-silking interval (ASI) by 3.0~3.3 days and decreased plant height, ear length, ear diameter, number of rows in ear, and yield by 47~51 cm, 4.6~5.0 cm, 4.4~5.3 mm, 1.5~2.0, and 2.4~2.5 Mg/ha, respectively. Application of salicylic acid and abscisic acid did not significantly reduced the drought injuries of waxy corn. Pretreatment of the plant growth regulators before water deficit stress or divided application at low concentration may be required to obtain the reduction effect on drought stress of waxy corn.

Keywords : abscisic acid, drought stres, salicylic acids, waxy corn

세계 3대 작물의 하나인 옥수수의 국내 재배면적은 2000년 15,808 ha에서 2012년 17,001 ha로 증가하였으며, 이에 따라 생산량은 64,205톤에서 83,210톤으로 늘었다(KOSIS, 2013). 국립기상연구소(NIMR, 2011)은 기후변화에 의해 앞으로는 강수량의 시간적·공간적 변동성이 커져서, 가물거나 폭우에 의한 피해 위험도가 높아질 것으로 전망하였다. 우리나라에서의 옥수수의 하루 평균 물 요구량은 생육 초기(파종 후 25일까지)에 2.02 mm day^{-1}, 신장기(파종 후 26~55일) 3.41 mm day^{-1}, 중기(파종 후 56~75일) 4.41 mm day^{-1}, 후기(파종 후 76~120일) 3.48 mm day^{-1}, 말기(파종 후 121~145일) 3.01 mm day^{-1}이다(Eom *et al*., 2013).

옥수수가 수분이 부족한 스트레스를 받으면 기관 발달에 영향을 받아서 잎과 수염의 생장이 떨어지게 되므로 광합성을 위해 필요한 빛을 받아들이는 잎 면적이 줄어들고 출웅-출사기의 간격이 벌어지며, 양분의 흡수와 이동, 분배가 불량해지고, 기공이 닫혀서 잎의 온도가 높아지고 기체 교환 불량에 따라 이산화탄소 분압이 낮아져서 광합성 산물이 줄어든 결과 옥수수 수량이 줄게 된다(Aslam, 2011). 옥수수의 한발 피해는 일찍이 Robins & Domingo(1953)가 개화기의 한발에 의한 수량 감소가 제일 크다고 하였으며, Claasen & Shaw(1970)는 출사 전과 출사기의 한발로 수량이 각각 15%와 53% 줄었고, 출사 후 3주 동안 한발 처리하면 30% 감소한다고 하였다. Shaw(1976)는 옥수수가 한발에 가장 민감한 시기는 출웅 7일 전부터 15일 후까지로, 다른 시기에 비해 수량 감소폭이 2~3배에 이른다고 하였다. NeSmith & Ritchie(1992)는 출웅 직전부터 알곡에 양분이 채워지기 시작할 때까지 가물면 수량은 최고 90% 감소하고 불임율은 77%에 이른다고 하였다. 2012년 가뭄에 의해 미국의 옥수수 생산성은 30년 수량 추세선에서 24% 낮은 ha당 7.6톤으로 예측되었다(Al-Kaisi *et al*., 2013).

한발 피해를 줄이기 위해서는 관개가 가장 좋은데, 제한된 물 자원과 관개 비용 등에 의해 관개가 수월하지 않은 경우가 적지 않다(Cakir, 2004). 옥수수의 가뭄 스트레스를

†Corresponding author: (Phone) +82-33-248-6912 (E-mail) seoysh@korea.kr
<Received 23 September, 2013; Revised 29 November, 2013; Accepted 11 December, 2013>

줄이기 위한 여러 방법들이 연구되어져 왔는데, 그 가운데 생장조절제로는 살리실산(Amin *et al*., 2013; Rao *et al*., 2012; Saruhan *et al*., 2012; Tufail *et al*, 2013; Zamaninejad *et al*, 2013), 앱시식산(Aroca *et al*., 2003; de Souza *et al*., 2013; Hu *et al*, 2005; Jiang & Zhang, 2003; Liu *et al*, 2005), 코로나틴(Wang *et al*., 2008), 글라이신베타인(Anjum *et al*., 2011), 트레할로즈(Ali & Ashraf, 2011), 브라시노라이드(Anjum *et al*., 2011), 티오유레아(Amin *et al*., 2013), L-트립토판(Rao *et al*., 2012), 규소(Zargar & Agnihotri, 2013) 등이 있다. 이 물질들을 종자에 처리하거나 잎에 살포하면 수분 부족 스트레스에 의한 생장 저해를 낮추어주고, 광합성율과 잎 면적, 건물 생산을 높여주는 것으로 알려져 있다(Elwana & El-Hamahmyb, 2009). 그런데 이들 생장조절제들이 옥수수의 종류 가운데 열성인 찰옥수수의 한발 피해를 줄여주는 효과에 대한 연구는 매우 제한적이다. 본 연구는 여러 생장조절제 가운데 비교적 값이 싸고 실용화하기 쉬운 살리실산과 앱시식산이 찰옥수수의 한발 스트레스를 얼마나 줄일 수 있는지 검토하고자 시설하우스에서 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 강원도농업기술원 옥수수연구소(강원도 홍천군, N 37°53'56" E 128°02'19")의 연동형 플라스틱 하우스(700 m^2)에서 수행되었으며, 토양은 홍천통(sandy skeletal, mesic family of Typic Udipsamments)으로 사양토였다. 본 연구에 쓰인 찰옥수수는 미백2호(중생종)였으며, 2013년 4월 12일에 128공 플러그 셀에 상토를 채운 다음 1립씩 파종하여 육묘하였고, 5월 2일에 70×25 cm의 재식밀도로 1주 1본 정식하였다. 시비량은 N-P_2O_5-K_2O가 158-30-63 kg/ha였으며, 질소는 밑거름과 웃거름(7엽기)을 50:50으로 나누어 시용하였고, 인산과 칼리는 우분퇴비(1,000 kg/10a)와 함께 전량 밑거름으로 주었다. 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였으며, 각 시험구의 면적은 21 m^2였다.

처리는 대조구로 관수구와 한발 처리구를 두었고, 생장조절제의 효과를 검토하기 위하여 한발 처리를 하면서 살리실산 또는 앱시식산을 처리한 구를 두었다. 한발 처리구는 6월 15일부터 관개를 중단하였는데, 이는 출웅기인 6월 24일의 9일 전이었다. 출웅 후 14일인 7월 8일에 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 & Edmeades, 1999), 본 실험에 쓰인 한발 처리는 보통 수준의 한발 처리에 해당한다고 볼 수 있다. 토양 수분 장력은 텐시오미터(Irrometer, USA)를 20~25 cm 깊이에 설치하여 측정하였는데, 한발 처리구는 관수 중단 기간 동안에 -50 kPa 이상을 유지하였다(Fig. 1). 살리실산과 앱시식산의 처리 시기는 출웅기였으며, 처리 농도는 각각 0.5 mM과 0.1 mM이었다. 살리실산의 적정 처리 농도는 여러 가지로 보고되어 왔다. 한 예로 Amin *et al*. (2013)은 살리실산 200 mg/L(1.45 mM 상당)의 농도가 가장 효과가 좋다고 보고하였으며, Zamaninejad *et al*. (2013)은 1 mM이 가장 처리 효과가 높았다고 하였고, Rao *et al*. (2012)은 살리실산 100 mg/L(0.72 mM 상당)과 L-트립토판 15 mg/L를 같이 처리하였을 때가 가장 효과적이었다고 하였으며, Saruhan *et al*. (2012)은 1 μM을 3일 간격으로 세 차례 처리하였을 때 한발 스트레스를 줄였다고 하였다. 앱시식산의 경우에는 Aroca *et al*. (2003)과 de Souza *et al*. (2013)이 0.1 mM 농도로 처리하였을 때 수분 스트레스를 완화하는 효과가 있었다고 하였다.

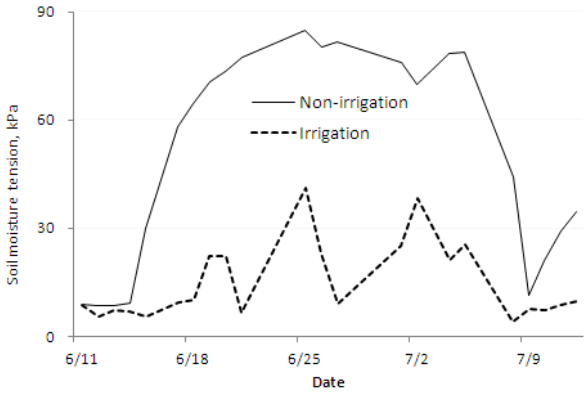

Fig. 1. Change in soil moisture tension during irrigation withdrawal period.

시험구의 약 50%가 출웅 또는 출사되는 때를 각각 출웅기와 출사기로 하였으며, 이로부터 파종기로부터 출웅기 또는 출사기까지의 일수인 출웅일수와 출사일수를 산출한 다음, 그 차이인 ASI(출사일수-출웅일수)를 계산하였다. 시험구당 20주의 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.

결과 및 고찰

물을 충분히 공급하였을 때에 출웅기와 출사기 사이의 간

격(ASI)은 3.0일인데 반하여, 한발 처리구는 6.0~6.3일로 높아졌다(Fig. 2). DuPlessis & Dijkhuis (1967)는 수분 스트레스는 옥수수 수염 생장을 지연시켜 ASI를 높인다고 하였다. 살리실산과 앱시식산의 처리는 ASI를 0.3일 줄였으나, 통계적으로 유의하지 않았다. 이들 생장조절제를 출웅기에 처리하여 유의한 효과를 얻지 못한 것으로 판단된다. Rao *et al*.(2012), Saruhan *et al*.(2012), Zamaninejad *et al*.(2013)은 살리실산을 한발 처리 전에 처리하여 옥수수가 한발 스트레스에 대비할 수 있었을 것으로 사료된다.

한발 처리구의 간장은 194~198 cm로 수분이 부족하지 않았을 때의 245 cm에 비해 작아졌다(Fig. 3). 수분 부족에 의해 양분 흡수 및 광합성율이 낮아졌기 때문으로 보인다. 살리실산과 앱시식산의 처리는 무처리에 비해 2~4 cm 높았으나, 유의하지 않았다. 관수구의 착수고는 114 cm였고 한발 처리구는 105~108 cm로, 간장에 비해 물 부족에 의한 영향이 크지 않았다. 간경은 관수구 16.0 mm, 한발 처리구 15.4~15.5 mm로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 생장조절제 처리 사이에도 차이가 없었다.

수분부족 스트레스에 의해 이삭장은 4.6~5.0 cm 유의하게 줄었다(Table 1). 살리실산과 앱시식산의 처리는 무처리에 비해 각각 0.4 cm와 0.3 cm 늘리는 데 불과해서 유의한 차이를 보이지 않았다. 이삭경 또한 한발 처리로 4.4~5.3 mm 줄었으며, 살리실산과 앱시식산의 처리로 0.5~0.9 mm 밖에 높아지지 않았다. 개화기의 관수 중단으로 열수는 1.5~2.0개 줄었으며, 생장조절제의 처리 효과는 0.2~0.5개 증가로 미미하였다. Khalili *et al*.(2013)은 가뭄 스트레스에 의해 옥수수의 열수가 1.75~3.75개 감소하였다고 하였다.

수분 부족 스트레스가 없을 때의 찰옥수수 수량은 5.4 Mg/ha인 데 비하여, 개화기의 한발 처리구는 2.9~3.0 Mg/ha로 유의하게 낮아졌다(Fig. 4). Denmead & Shaw(1960)는 개화 전, 개화기, 개화 후의 한발에 의한 수량 감소는 각각

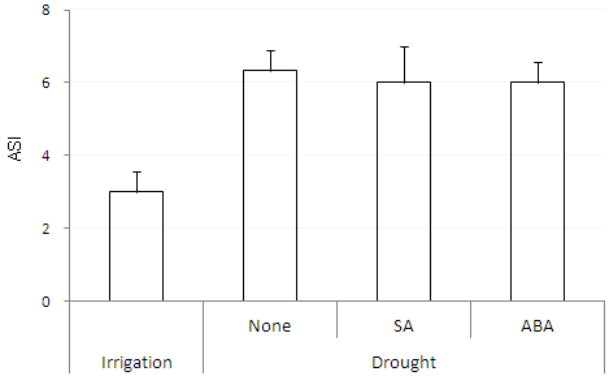

Fig. 2. Anthesis-silking interval (ASI) affected by drought stress and application of salicylic acid (SA) and abscisic acid (ABA). Error bars indicate standard deviation.

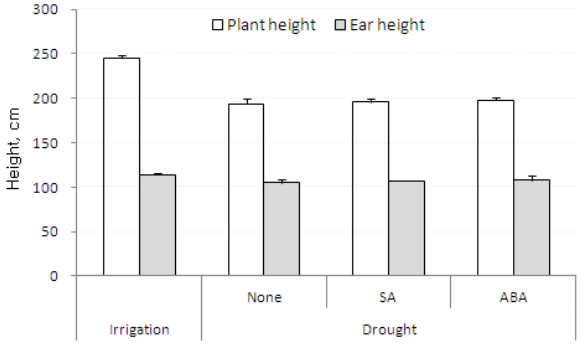

Fig. 3. Plant height and ear height affected by drought stress and application of salicylic acid (SA) and abscisic acid (ABA). Error bars indicate standard deviation.

Table 1. Ear characteristics affected by drought stress and application of salicylic acid (SA) and abscisic acid (ABA).

Treatment		Ear length†	Ear diameter	Row number
		cm	mm	
Irrigation		17.2±0.4a	40.2±0.5a	13.3±0.7a
Drought	None	12.2±0.5b	34.9±1.2b	11.3±0.7b
	Salicylic acid (SA)	12.6±0.3b	35.8±0.3b	11.8±0.7b
	Abscisic acid (ABA)	12.5±0.1b	35.4±0.5b	11.5±0.8b

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

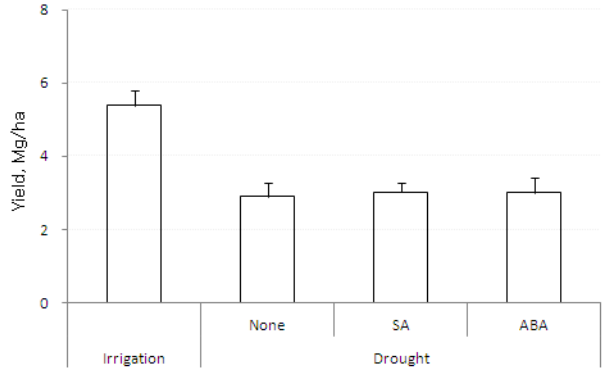

Fig. 4. Yield of waxy corn affected by drought stress and application of salicylic acid (SA) and abscisic acid (ABA). Error bars indicate standard deviation.

25%, 50%, 21%라고 하였다. Grant *et al*.(1989)은 출사 후 2~22일이 가장 한발에 민감한 시기로 낟알 수가 45% 감소한다고 하였으며, 출사 후 12~16일의 한발은 종실중을 51% 떨어뜨린다고 하였다. Heisey & Edmeades(1999)는 개화기 10~21일 전부터 관개를 중단하는 보통 수준의 한발 처리는 대조구인 관개 처리구의 수량의 40~60%이고, 21~35일 전부터 단수하는 극심한 한발은 대조구의 10~25% 밖에 되지 않는다고 하였다. 본 연구에서의 한발 처리에 의한 수량 감소폭은 44~46%로 선행 연구들의 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 살리실산과 앱시식산의 처리 효과는 각각 117과 103 kg/ha로 뚜렷하지 않았다.

한발에 의해 높아진 ASI가 생장조절제의 처리에 의해 유의하게 개선되지 않은 것과 비슷하게, 수분 부족 스트레스에 의해 낮아진 수량이 생장조절제의 처리로 뚜렷이 증가하지 않았다. 이는 개화기에 한발 스트레스를 받은 옥수수의 수량은 ASI와 높은 상관관계를 가진다는 보고(Bolanos & Edmeades, 1996)와 옥수수 수량과 ASI 사이의 관계식은 수량=EXP(3.04-1.29SQRT(ASI+2))로, 강한 반비례 관계를 가진다는 결과(Heisey & Edmeades, 1999)와 부합하였다.

본 연구에서는 생장조절제인 살리실산과 앱시식산의 한발 피해 경감 효과가 유의성있게 나타나지 않았는데, 그 이유는 한발 처리 후 9일이 지난 출웅기에 처리하여 수분 부족 스트레스 기작이 이미 상당히 진행되어 ASI를 줄이는 등의 효과가 나타나기 힘들었기 때문으로 사료된다. 따라서 기존 연구(Rao *et al*., 2012; Saruhan *et al*., 2012; Zamaninejad *et al*., 2013)에서와 같이 생장조절제를 한발 스트레스를 받기 전에 처리하여 경감 효과를 검토할 필요가 있다. Zamaninejad *et al*.(2013)은 살리실산을 10~12엽기에 처리하는 것이 가장 효과적이었다고 하였다. 또는 Saruhan *et al*.(2012)과 같이 저농도로 3회에 나누어 처리하는 것이 좋을 수 있다.

적 요

물 자원이 제한되거나 관수 설비가 갖추어지지 않은 곳에서 찰옥수수의 한발 피해를 줄이고자, 종실용 옥수수에 대한 수분 스트레스 경감 효과가 보고되어진 살리실산과 앱시식산의 처리 효과를 살펴보았다. 출웅기 9일 전부터 출웅 후 14일까지 관수를 중단하였으며, 생장조절제는 출웅기에 1회 처리하였다. 살리실산과 앱시식산의 처리 농도는 각각 0.5 mM과 0.1 mM이었다. 한발 처리에 의해 ASI가 3.0~3.3일 늘어났으며, 간장은 47~51 cm, 이삭장은 4.6~5.0 cm, 이삭경은 4.4~5.3 mm, 열수는 1.5~2.0개, 수량은 2.4~2.5 Mg/ha 줄었다. 살리실산과 앱시식산의 처리에 의한 한발 피해의 경감 효과는 뚜렷하지 않았다. 찰옥수수에 대한 살리실산과 앱시식산의 한해 경감 효과를 위해서는 수분 부족 스트레스를 받기 이전에 처리하거나, 저농도로 몇차례에 나누어 처리하는 것이 필요한 지에 대한 추후 검토가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ009746032013)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

인용문헌

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.

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

Bolanos, J. and G. O. Edmeades. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. Field Crops Research 48:65-80.

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.

Denmead, O. T. and R. H. Shaw. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. Agron. J. 52:272-274.

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-Hamahmyb. 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.

Khalili, M., M. R. Naghavi, A. P. Aboughadareh, and H. N. Rad. 2013. Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L.). Intl. J. Agron. Plant Prod. 4:809-812.

Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2013. http://kosis.kr/abroad/abroad_01List.jsp

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 Crops Research 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.

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.

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.