

Aplicación foliar de sustancias químicas a plantas de algodónero bajo estrés hídrico**Foliar application of chemical substances to cotton plants under water stress**

Ma. Magdalena Villa-Castorena^{1*}, Ernesto Alonso Catalán-Valencia¹, Marco Antonio Inzunza-Ibarra¹,
Hilario Macías-Rodríguez¹, María del Rosario Jacobo-Salcedo¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID RASPA Km 6.5
Margen Derecha Canal Sacramento, Gómez Palacio, Dgo, México. 35140.

* Autor para correspondencia: villa.magdalena@inifap.gob.mx

RESUMEN

La búsqueda de estrategias para mitigar los efectos del déficit hídrico en plantas es una necesidad debido a la escasez del agua para riego. Se evaluó el efecto de la aplicación foliar de ácido salicílico (AS) a 0.025, 0.05 y 0.10 mM, glicina betaina (GB) a 10, 25 y 50 mM, nitrato de potasio (KNO_3) a 5, 10 y 15 mM y nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) a 2.1, 4.2 y 6.3 mM en el crecimiento y rendimiento de algodónero. El trabajo se condujo bajo condiciones de invernadero y se utilizó la variedad transgénica FM11740B2F. Las semillas se sembraron en macetas de plástico de 18 L llenas con una mezcla comercial de turba, perlita y vermiculita. Las plantas se regaron cuando el sustrato tenía del 25 al 30% de la capacidad máxima de retención de agua. Se evaluaron el área foliar (AF), peso seco total (PST) y rendimiento (fibra+semilla). Los tratamientos afectaron de manera positiva al AF y PST, aunque la magnitud de la respuesta estuvo definida por la concentración de las sustancias. La GB a 25 mM, KNO_3 a 5 y 10 mM y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a 2.1 y 4.2 mM promovieron el mayor AF. Los tratamientos con KNO_3 a 10 y 15 mM y con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a 2.1 y 4.2 mM produjeron los mayores beneficios al PST. Con excepción del AS, las sustancias aplicadas beneficiaron al rendimiento, con la mejor respuesta con GB a 25 mM. Las sustancias evaluadas podrían ser usadas para disminuir los efectos adversos del déficit hídrico en plantas de algodónero.

Palabras clave: ácido salicílico, glicina betaina, nitrato de potasio, nitrato de calcio.

SUMMARY

The search for strategies to mitigate the effects of water deficit on plants is a necessity due to the scarcity of water for irrigation. The foliar application of salicylic acid (AS) at 0.025, 0.05 y 0.10 mM, glycine betaine (GB) at 10, 25 y 50 mM, potassium nitrate (KNO_3) at 5, 10 y 15 mM y nitrate of calcium ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) at 2.1, 4.2 y 6.3 mM was evaluated on the growth and yield of cotton. The study was performed under greenhouse conditions and the FM11740B2F transgenic variety was used. The seeds were sown in 18 L plastic pots filled with a commercial mixture of peat, perlite and vermiculite. The plants were irrigated when the substrate had 25 to 30% of the maximum water retention capacity. Foliar area (AF), total dry weight (PST) and fiber+seed yield were evaluated. The treatments positively affected AF and PST, although the magnitude of the response was defined by the concentration of the substances. GB at 25 mM, KNO_3 at 5 and 10 mM and $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ at 2.1 and 4.2 mM promoted the highest AF. The treatments with KNO_3 at 10 and 15 mM and with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ at 2.1 and 4.2 mM produced the greatest benefits to PST. With the exception of the AS, the applied substances benefited the yield, with the best response with GB at 25 mM. The substances evaluated could be used to reduce the adverse effects of the water deficit on cotton plants.

Keywords: salicylic acid, glycine betaine, potassium nitrate, calcium nitrate.



INTRODUCCIÓN

En México, la falta de precipitación ha ocasionado que el 50% de los municipios actualmente estén afectados por la sequía y se calcula que 1.4 millones de ha han sufrido por esta condición (Romero 2012). Ante esa situación, es necesario desarrollar e implementar estrategias que ayuden a incrementar el aprovechamiento y eficiencia en el uso del agua; reducir los efectos de la sequía en las plantas y desarrollar técnicas para obtener la producción de alimentos y/o productos que necesita el país. Una alternativa rápida y de bajo costo es la activación de los mecanismos de tolerancia al déficit hídrico en plantas mediante la aplicación exógena de sustancias químicas relacionadas con la respuesta de las plantas a los estreses abióticos como la sequía. Dentro de esas sustancias se encuentran la glicina betaina (GB), el ácido salicílico (AS), nitrato de potasio (KNO_3) y nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$).

Diversos estudios de campo e invernadero indican que la aplicación exógena de la GB incrementa la tolerancia al estrés hídrico en diferentes cultivos. Por ejemplo, en girasol (Iqbal *et al.*, 2011), frijol (Lopez *et al.*, 2002) y trigo (Shahbaz *et al.*, 2011). Esa tolerancia se reflejó en mayor crecimiento, mayor actividad de enzimas antioxidantes, así como incremento en las concentraciones de glicina betaina y prolina en el tejido foliar.

La aplicación exógena de AS también incrementa la capacidad de las plantas para tolerar los efectos negativos de la sequía en algunas especies. Por ejemplo, en girasol (Noreen *et al.*, 2009), garbanzo (Farjam *et al.*, 2015), trigo (Sing and Usha 2003) y soya (Nasrin *et al.*, 2017). Esa tolerancia al déficit hídrico se manifestó en una mayor área foliar, altura de planta, rendimiento de grano, clorofila total y actividad enzimática. El efecto benéfico de la aplicación foliar de KNO_3 en plantas bajo estrés hídrico se ha documentado en estevia (Srivastava and Srivastava 2016) y en un tipo de cítrico (*Citrus macrophylla* L., Gimeno *et al.*, 2014). Así mismo, la aplicación foliar $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

favoreció el crecimiento y rendimiento de arroz bajo condiciones de temporal (Kundu and Sarkar 2009).

El algodón es un cultivo atractivo desde el punto de vista económico y social; este cuenta con apoyos económicos directos del gobierno federal. Además, es un cultivo que genera empleo pues requiere de mano de obra para llevar a cabo las prácticas agronómicas para su desarrollo. El propósito del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de AS, GB, KNO_3 y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en el crecimiento y rendimiento en plantas de algodón bajo condiciones de estrés hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en un invernadero en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en Gómez Palacio, Durango. El invernadero estuvo cubierto con polietileno transparente y con una malla sombra negra (50:50) en el techo; en los lados con malla antiáfidos blanca, no se contó con control artificial del clima. Las temperaturas máximas y mínimas promedio registradas dentro del invernadero durante el desarrollo del estudio, fueron de 39.3°C y 21°C, respectivamente.

Se estudió la aplicación foliar de AS (Sigma, Aldrich), GB (Sigma, Aldrich), KNO_3 (multi K™ GG 13.5-0-46.2, Haifa Group) y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (Haifa Cal GG 15.5-0-0-26.5, Haifa Group); cada una a tres concentraciones diferentes. También se incluyó un testigo al cual no se le aplicó ninguna sustancia; en el Cuadro 1 se describen cada uno de los tratamientos. El inicio de los tratamientos fue a los 20 días después de la emergencia y se realizaron tres aplicaciones foliares con intervalos de 30 días. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con siete repeticiones, la parcela experimental consistió de tres macetas por tratamiento.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados.

Trt.	Sustancia	Nomenclatura	Concentración (mM)
T1	Ácido salicílico	AS	0.025
T2	Ácido salicílico	AS	0.05
T3	Ácido salicílico	AS	0.10
T4	Glicina betaina	GB	10.0
T5	Glicina betaina	GB	25.0
T6	Glicina betaina	GB	50.0
T7	Nitrato de potasio (fertilizante)	KNO ₃	5.0
T8	Nitrato de potasio (fertilizante)	KNO ₃	10.0
T9	Nitrato de potasio (fertilizante)	KNO ₃	15.0
T10	Nitrato de calcio (fertilizante)	Ca(NO ₃) ₂	2.1
T11	Nitrato de calcio (fertilizante)	Ca(NO ₃) ₂	4.2
T12	Nitrato de calcio (fertilizante)	Ca(NO ₃) ₂	6.3
T13	Testigo	T	Sin aplicar

Trt = tratamiento

Las semillas se sembraron en macetas de plástico negro de 20 L de capacidad, llenas con una mezcla comercial de turba con perlita y vermiculita (BM2, Berger, berger.ca). Se colocaron dos semillas por maceta y después de la emergencia se dejó sólo una planta; se usó la variedad transgénica FM11740B2F. Las plantas se regaron cuando el sustrato tenía del 25 al 30% de la capacidad máxima de retención de agua. Esto con el fin de que las plantas estuvieran bajo una condición de estrés hídrico. Se marcaron diez macetas al azar y se estuvo monitoreando su peso para definir el momento de riego. La cantidad de agua aplicada fue la necesaria para llevar a la máxima retención de agua del sustrato. El riego se aplicó de manera manual con probeta graduada.

Las plantas se fertilizaron con una solución nutrimental equilibrada de 15 meq L⁻¹ de aniones y cationes (Cuadro 2). La primera fertilización se llevó a cabo cuando las plantas tuvieron dos hojas verdaderas, posteriormente se hizo con una frecuencia de cada diez días. Se aplicó un 15% más del agua requerida para evitar la salinización del sustrato. Se usaron los fertilizantes comerciales nitrato de magnesio, nitrato de calcio, nitrato de potasio y monofosfato de potasio para preparar la solución nutrimental; también se usó ácido fosfórico para regular el pH de la solución a 6.5. Se tomaron en cuenta las aportaciones de nutrientes del agua de riego para el cálculo de los fertilizantes requeridos.

Cuadro 2. Solución nutrimental usada para la fertilización de las plantas.

Ion	%	meq L ⁻¹
NO ₃ ⁻	0.70	10.50
H ₂ PO ₄ ⁻	0.17	2.55
SO ₄ ²⁻	0.13	1.95
K ⁺	0.33	4.95
Ca ²⁺	0.45	6.75
Mg ²⁺	0.22	3.30

A los 40, 80 y 110 días después de la siembra (dds) se hicieron muestreos destructivos de la planta con el fin de evaluar el área foliar y peso seco de la planta. Esas mediciones se hicieron en cada tratamiento solamente en cuatro repeticiones, con el fin de garantizar suficiente material vegetal. El área foliar se cuantificó con un integrador de área foliar LI-3100 LI-COR Biosciences; el peso seco de la planta se obtuvo mediante la colección de raíz, tallos, hojas,

flores y frutos. Ellos se secaron en una estufa de aire forzado a una temperatura de 68°C por un tiempo de 48 h. Al final del ciclo se registró el rendimiento de fibra más semilla por planta. Los datos se analizaron mediante el análisis de varianza correspondiente al diseño experimental usado con el programa SAS (SAS Institute 2004). La separación de medias se llevó a cabo mediante la prueba de Duncan ($P = 0.05$).

RESULTADOS

Área foliar (AF). La aplicación foliar de las sustancias evaluadas afectaron de manera diferencial al AF durante las fechas de muestreo. En el primer muestreo, no se detectaron efectos significativos en el AF ($P \leq 0.05$), lo contrario sucedió en el segundo y tercer muestreo ($P < 0.0001$). El AF promedio de todos los tratamientos en el primer muestreo fue de 2374 cm². En el segundo muestreo, con excepción T8 y T12, los tratamientos superaron al testigo (Cuadro 3). Con la mayor respuesta con T5 y T10, los cuales no fueron estadísticamente diferentes entre ellos (Duncan

$P = 0.05$), en promedio superaron al AF del testigo en un 15%. En el tercer muestreo, los tratamientos T5, T7, T8, T10 y T11 mostraron el mayor AF, con un valor promedio superior al del testigo en un 15%.

Los resultados señalados anteriormente indican que, en el primer muestreo, el efecto de las sustancias aplicadas en el AF no se manifestó, debido quizás a que sólo se había dado una aplicación. En cambio, en el segundo y tercer muestreo los tratamientos afectaron el AF, con la mayor respuesta de la GB a 25 mM, KNO₃ a 5 y 10mM y Ca(NO₃)₂ a 2.1 y 4.2 mM en el último muestreo.

Cuadro 3. Medias del área foliar por planta en tres fechas de muestreo

Trt	Nomenclatura	AF1 (cm ²) †	AF2 (cm ²) †	AF3 (cm ²) †
T1	AS, 0.025 mM	2328	4716 b	5424 b
T2	AS, 0.05 mM	2437	4618 b	5451 b
T3	AS, 0.10 mM	2445	4723 b	5843 ab
T4	GB, 10 mM	2414	4663 b	5794 ab
T5	GB, 25 mM	2297	5199 a	5983 a
T6	GB, 50 mM	2429	4830 b	5801 ab
T7	KNO ₃ , 5 mM	2317	4748 b	5968 a
T8	KNO ₃ , 10 mM	2420	4541 bc	5913 a
T9	KNO ₃ , 15 mM	2257	4653 b	5688 ab
T10	Ca(NO ₃) ₂ , 2.1 mM	2370	5201 a	6103 a
T11	Ca(NO ₃) ₂ , 4.2 mM	2487	4757 b	6098 a
T12	Ca(NO ₃) ₂ , 6.3 mM	2624	4368 c	5054 b
T13	Testigo	2037	4514 bc	5235 b

† Medias con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Duncan $P = 0.05$).

Peso seco total (PST). El efecto de la aplicación foliar de las sustancias evaluadas se hizo evidente hasta la segunda y tercera fecha de muestreo ($P < 0.0001$). En el segundo muestreo, la aplicación de GB en la dosis media y alta, de KNO₃ y Ca(NO₃)₂ en sus tres dosis de aplicación mostraron un efecto positivo en el PST (Cuadro 4). El tratamiento con KNO₃ en su concentración media mostró el mayor PST, con un 27% más que el producido en el testigo; en seguida los tratamientos con GB en dosis media y alta, KNO₃ en las dosis baja y alta, en promedio superaron al testigo en un 19%. Finalmente, los tratamientos con Ca(NO₃)₂ en sus tres dosis de aplicación superaron al testigo en un 13%. En el tercer muestreo, con excepción del T1, las sustancias evaluadas promovieron mayor PST que el del testigo (Cuadro 4). Con la mayor respuesta con la aplicación de KNO₃ a la concentración media y alta; así como con

Ca(NO₃)₂ a la dosis baja y media. En promedio esos tratamientos superaron al PST del testigo en un 24%. En seguida los tratamientos con AS a 0.10 mM, GB a 25 y 50 mM y KNO₃ a 5 mM, en promedio superaron al PST del testigo en un 17%.



Cuadro 4. Medias del peso seco total por planta

Trt	Nomenclatura	PST1 (g) †	PST2 (g) †	PST3 (g) †
T1	AS, 0.025 mM	24.29	70.40 cd	70.74 de
T2	AS, 0.05 mM	24.32	68.55 d	74.84 c
T3	AS, 0.10 mM	25.07	68.93 d	79.92 b
T4	GB, 10 mM	24.39	67.63 d	77.87 bc
T5	GB, 25 mM	22.58	78.19 b	80.07 b
T6	GB, 50 mM	24.83	78.83 b	79.43 b
T7	KNO ₃ , 5 mM	22.74	76.74 b	79.57 b
T8	KNO ₃ , 10 mM	23.22	83.47 a	84.32 a
T9	KNO ₃ , 15 mM	21.22	77.90 b	86.43 a
T10	Ca(NO ₃) ₂ , 2.1 mM	23.45	73.89 bc	83.86 a
T11	Ca(NO ₃) ₂ , 4.2 mM	24.40	73.70 bc	83.48 a
T12	Ca(NO ₃) ₂ , 6.3 mM	26.16	74.89 bc	72.73 cd
T13	Testigo	21.86	65.71 d	68.14 de

† Medias con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Duncan $P = 0.05$)

Rendimiento

El efecto de los tratamientos en el rendimiento (fibra+semilla) fue altamente significativo ($P = 0.0003$). La aplicación de GB a la concentración media y alta, KNO₃ en sus tres dosis y Ca(NO₃)₂ a la media y alta concentración mostraron beneficios en el rendimiento (Cuadro 5). El tratamiento con GB a 25 mM produjo el mayor

rendimiento, el cual fue superior al testigo en un 27%; en seguida los tratamientos con GB a 50 mM, KNO₃ a 10 y 15 mM, y Ca(NO₃)₂ a 4.2 y 6.3 mM, los cuales fueron estadísticamente similares entre sí (Duncan, $P = 0.05$), en promedio produjeron un 16% más que el testigo y finalmente la aplicación de KNO₃ a 5 mM con un 8% más de rendimiento que el testigo.

Cuadro 5. Rendimiento de algodón en cada tratamiento evaluado

Trt	Nomenclatura	Rendimiento (g) †
T1	AS, 0.025 mM	44.37 c
T2	AS, 0.05 mM	44.97 c
T3	AS, 0.10 mM	44.72 c
T4	GB, 10 mM	45.05 c
T5	GB, 25 mM	57.55 a
T6	GB, 50 mM	53.78 ab
T7	KNO ₃ , 5 mM	49.05 b
T8	KNO ₃ , 10 mM	53.83 ab
T9	KNO ₃ , 15 mM	51.80 ab
T10	Ca(NO ₃) ₂ , 2.1 mM	40.60 c
T11	Ca(NO ₃) ₂ , 4.2 mM	51.47 ab
T12	Ca(NO ₃) ₂ , 6.3 mM	52.05 ab
T13	Testigo	45.35 c

Rendimiento (fibra + semilla)

† Medias con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Duncan $P = 0.05$)

DISCUSIÓN

El efecto benéfico de la aplicación foliar de AS, GB, KNO₃ Ca(NO₃)₂ en plantas cultivadas bajo condiciones de déficit hídrico ha sido reportado en diversos estudios (Gimeno *et al.*, 2014; Kundu and Sarkar 2009; Iqbal *et al.*, 2011;

Nasrin *et al.*, 2017). Los resultados encontrados en este estudio indican que las sustancias aplicadas afectaron el AF, con la mayor respuesta de la GB a 25 mM, KNO₃ a 5 y 10mM y Ca(NO₃)₂ a 2.1 y 4.2 mM en el último muestreo. Estos resultados coinciden con los reportados en otros estudios donde señalan el



incremento del AF en el cultivo de tomate debido a la aplicación de GB (Ragab *et al.*, 2015). También la aplicación foliar de KNO_3 aumentó el AF del girasol y cártamo (Nusrat and Rafiq 2011). Sin embargo, la respuesta de la planta a las aplicaciones de GB y KNO_3 puede variar con la dosis de aplicación, número de aplicaciones, tipo de planta y época de aplicación (Ashraf *et al.*, 2008). El KNO_3 y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aportan tres elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas los cuales promovieron mayor AF con la concentración baja e intermedia. A su vez, el potasio además de ser un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, mejora la retención de agua en las células lo cual promueve que el crecimiento de las plantas se mantenga o incremente en condiciones de estrés hídrico (Cakmak 2005). El calcio también juega un papel importante en la activación de enzima, regulación del flujo del movimiento de agua en las células y es esencial para el crecimiento y división celular (Marschner 1995).

Los resultados obtenidos en el PST coinciden con los reportados en otros estudios donde se evaluó la respuesta de esta variable a la aplicación de AS, GB, KNO_3 y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Kang *et al.*, (2013) reportaron incrementos en el PST debido a la aplicación foliar de AS en trigo; también ese efecto positivo se obtuvo en el cultivo de garbanzo (Farjam *et al.*, 2015). El AS desempeña un papel importante en la regulación de un número de procesos fisiológicos en las plantas. Por ejemplo, en las tasas de fotosíntesis, transpiración, el transporte de los iones e induce cambios en la anatomía de las hojas y en la estructura de los cloroplastos (Uzunova and Popova, 2012). La aplicación de GB también favoreció el PST del trigo (Shahbaz

et al., 2011) y en tomate (Ragab *et al.*, 2015). El tratamiento foliar con KNO_3 también ha beneficiado la producción de materia seca en cultivos bajo estrés hídrico; entre ellos se encuentra la estevia (Srivastava and Srivastava, 2016), jojoba (Hussein *et al.*, 2013) y garbanzo (Kirti *et al.*, 2007).

Con respecto a los resultados encontrados en este estudio sobre el efecto benéfico de la aplicación de GB y KNO_3 en el rendimiento, estos coinciden con otros estudios hechos en otras especies. Tal es el caso del cultivo de maíz donde la aplicación foliar de GB incrementó el rendimiento de grano (El-Hendawy *et al.*, 2014). Lo mismo sucedió con trigo (Aldesuquy *et al.*, 2012) y con el rendimiento de fruto en tomate (Ragab *et al.*, 2015). También se ha encontrado que la aplicación de KNO_3 incrementó la producción de hoja en estevia (Srivastava and Srivastava, 2016). Tanto el potasio como el nitrógeno son dos macronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. El potasio ejerce un papel crucial en la tolerancia al estrés hídrico ya que interviene en diferentes procesos fisiológicos. Entre ellos destacan la apertura y cierre de estomas, estado hídrico de la planta, estimulación de enzimas, fotosíntesis, translocación de fotosintatos, mantenimiento de la estabilidad e integridad de las membranas celulares (Wang *et al.*, 2013). El nitrato de calcio aporta también dos iones esenciales para la nutrición de las plantas que intervienen en la mayoría de los procesos fundamentales para el crecimiento de las plantas (Marschner, 1995). En diversos estudios se ha reportado el efecto benéfico de la aplicación foliar del nitrato de calcio en varias especies, como es el caso de papa (Seifu and Deneke 2017) y arroz (Chaity and Sarkar 2009).

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de las sustancias evaluadas afectaron de manera positiva al AF y PST, aunque la magnitud de la respuesta estuvo definida por la concentración de las sustancias. Las aplicaciones de GB a 25 mM, KNO_3 a 5 y

10mM y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a 2.1 y 4.2 mM promovieron el mayor AF. Los tratamientos con KNO_3 a 10 y 15 mM y con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a 2.1 y 4.2 mM produjeron los mayores beneficios al PST. Con excepción del AS, las sustancias aplicadas beneficiaron al rendimiento, con la mejor respuesta con GB a 25 mM. Las sustancias evaluadas podrían ser

usadas para disminuir los efectos adversos del déficit hídrico en plantas de algodónero, aunque

más estudios son necesarios para validar estos resultados en campo.

LITERATURA CITADA

- Aldesuquy, H.S., M.A. Abbas, S. A. Abo-Hamed, A. H. Elhakem and S.S. Alsokari. 2012. Glycine betaine and salicylic acid induced modification in water relations and productivity of drought wheat plants. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 8:72-89.
- Ashraf, M., H. R. Athar, P. J. C. Harris and T. R. Kwon. 2008. Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in Agronomy*, 97:45-110. doi:10.1016/S0065-2113(07)00002-8.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168: 521–530. doi: 10.1002/jpln.200420485.
- Chaity, K. and Sarkar, R.K. 2009. Effect of foliar application of potassium nitrate and calcium nitrate on performance of rainfed lowland rice (*Oryza sativa*). *Indian Journal of Agronomy*, 54: 428-432.
- El-Hendawy, S. E., A. Maher, N. A. Kotab and U. S. Al-Suhaibani. 2014. Optimal coupling combinations between the irrigation rate and glycinebetaine levels for improving yield and water use efficiency of drip-irrigated maize grown under arid conditions. *Agricultural Water Management*, 140:69 –78. doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.021.
- Farjam, S., K-Ar. Hamdollah, S., Adel, Y. Mehrdad and R. Asad. 2015. Effects of salicylic and ascorbic acid applications on growth, yield, water use efficiency and some physiological traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under reduced irrigation. *Legume Research*, 38: 66-71. doi:10.5958/0976-0571.2015.00011.9.
- Gimeno, V. L., Díaz-López, S., Simón-Grao, V., Martínez, V., Martínez-Nicolás J. and García-Sánchez, F. 2014. Foliar potassium nitrate application improves the tolerance of *Citrus macrophylla* L. seedlings to drought conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 83: 308-315.
- Hussein, M. M., M. M. Tawfik, K. A. Ahmed and M. F. El Karamany. 2013. Effect of water stress on vegetative growth and some physiological aspects of jojoba (*Simmondsia chinensis* (Link) Schneider) in newly reclaimed sandy soil. *Elixir Pollution* 55: 12903-12909. www.elixirpublishers.com (Elixir International Journal).
- Iqbal, N., Y. Ashraf, Y. and M. Ashraf. 2011. Modulation of endogenous levels of some key organic metabolites by exogenous application of glycine betaine in drought stressed plants of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant Growth Regulation*, 63:7–12.
- Kang, G. Z., G. Z. Li, G. Q. Lui, W. Xu, X. Q. Peng, C. Y. Wang, Y. J. Zhu and T. C. Guo. 2013. Exogenous salicylic acid enhances wheat drought tolerance by influence on the expression of genes related to ascorbate-glutathione cycle. *Biologia Plantarum*, 57:718–724. doi:10.1007/s10535-013-0335-z.
- Kirti, B., V. Kumar and S. K. Dhimmarr. 2007. An evaluation of the potentiality of exogenous osmoprotectants mitigating water stress on chickpea. *The Journal of Agricultural Sciences*, 3:67-74. doi:10.4038/jas.v3i2.810.
- Kundu, C. and R. K. Sarkar. 2009. Effect of foliar application of potassium nitrate and calcium nitrate on performance of rainfed lowland rice (*Oryza sativa*). *Indian Journal of Agronomy*, 54: 428-432.

- Lopez, C.M.L., H. Takahashi and S. Yamazaki. 2002. Plant water relations of kidney bean plants treated with NaCl and foliarly applied Glycinebetaine. *Journal of Agronomy and Crop Science* , 188: 73-80.
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press. London NW1 7DX. pp 229-285.
- Nasrin, R., A. Ebadi, J. Daneshian and S. Jahanbakhsh. 2017. Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water deficit condition, *Journal of Plant Interactions*, 12:457-464. doi: 10.1080/17429145.2017.1392623
- Noreen, S., M. Ashraf, M., Hussain. and A. Jamil. 2009. Exogenous application of salicylic acid enhances antioxidative capacity in salt stressed sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *Pakistan Journal of Botany*, 41: 473-479.
- Nusrat J., A. Rafiq. 2011. Foliar application of potassium nitrate affects growth and nitrate reductase activity in sunflower and safflower leaves under salinity. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*. 39:172-178. doi:10.15835/nbha3926064.
- Ragab, M.E., A. S. Nesreen, M. S. Omaira, Z. F. Fawzy and S. M. El-Sawy. 2015. Foliar application of glycine betaine for alleviating water stress of tomato plants grown under sandy soil conditions. *International Journal of ChemTech Research*, 8: 52-67.
- Romero P. E. 2012. Sequía afecta a más de dos millones de mexicanos. *Teorema Ambiental. Revista Técnico Ambiental. Boletín electrónico del 30 de enero del 2012*. Web consultada el 30 de abril 2018: <http://www.teorema.com.mx/cambio-climatico/sequia-afecta-a-mas-de-dos-millones-de-mexicanos/>.
- Seifu YW and S Deneke. 2017. Effect of calcium chloride and calcium nitrate on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and yield. *Journal of Horticulture* 4:1-4. doi:10.4172/2376-0354.1000207.
- Shahbaz M., Y. Masood, S. Perveen and M. Ashraf. 2011. Is foliar applied glycinebetaine effective in mitigating the adverse effects of drought stress on wheat (*Triticum aestivum* L.)?. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 84:192-199.
- Singh, B. & Usha, K. 2003. Salicylic acid– induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation*, 39:137–141.
- Srivastava, S. and M. Srivastava. 2016. Improving tolerance of *Stevia rebaudiana* to water deficit stress through foliar spray of potassium nitrate. *International Journal of Applied and Natural Sciences*, 5:1-8.
- Statistical Analysis Systems Institute (SAS). 2004. The SAS System for windows version eight. Carry, N.C. U.S.A.
- Uzunova, A.N. and L. P. Popova. 2012. Effect of salicylic acid on leaf anatomy and chloroplast ultrastructure of barley plants. *Photosynthetica*, 38:243-250. doi:10.1023/A:1007226116925.
- Wang, M., Q. Zheng, Q. Shen and S. Guo. 2013. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14:7370-7390. doi:10.3390/ijms14047370