

# EXOGENOUS APPLICATION OF SALICYLIC ACID AMELIORATES GROWTH AND YIELD OF SUNFLOWER (*Helianthus annuus* L.) IN SALINE SOIL

## LA APLICACIÓN EXÓGENA DE ÁCIDO SALICÍLICO MEJORA EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GIRASOL (*Helianthus annuus* L.) EN SUELO SALINO

Atique-ur-Rehman<sup>1</sup>, Muhammad Safeer<sup>1</sup>, Rafi Qamar<sup>2</sup>, Muhammad Mohsin Altaf<sup>1</sup>, Naeem Sarwar<sup>1</sup>, Omer Farooq<sup>1</sup>, Muhammad Mazher Iqbal<sup>3</sup>, Shakeel Ahmad<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Agronomy, Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan (atiqjugg@gmail.com; dr.atique@bzu.edu.pk). <sup>2</sup>Department of Agronomy, University College of Agriculture, University of Sargodha, Pakistan. <sup>3</sup>Soil and Water Testing Laboratory for Research Chinot, Department of Agriculture, Government of Punjab, Pakistan.

### ABSTRACT

Salicylic acid (SA) is an endogenic plant hormone, acting as an antioxidant with various impacts on plant tolerance to biotic and abiotic stresses. The main objective of this study was to investigate the influence of SA on growth and yield of sunflower under saline condition. Our study was undertaken at the Agronomic Research Area of Bahauddin Zakariya University Multan, in soil filled pots during Spring 2016. The soil applied was moderately saline in nature (14.5 d Sm<sup>-1</sup>). The experimental design was completely randomized design with a 2×4 factorial arrangement of treatments: two sunflower hybrids (S-278 and Hysun-33) and four SA concentrations (control 0 mM SA, 10, 55 and 100 mM SA, as foliar application). Growth of sunflower in control was adversely affected under saline soil. However, the effect of salt stress was alleviated by foliar spray of SA, which ameliorated the growth and yield variables of both sunflower hybrids. Foliar application of 10 mM SA enhanced plant height, stem diameter and chlorophyll contents under saline condition, whereas 10 mM SA positively influenced head diameter, achene yield and oil contents, as compared to the other treatments. Hybrids S-278 performed significantly better than Hysun-33 regarding plant height and oil contents. Foliar application of 10 mM SA was the best for sunflower under moderately saline soils.

**Key words:** chlorophyll contents, achene yield, oil contents, sunflower, yield.

### RESUMEN

El ácido salicílico es una hormona vegetal endógena que actúa como antioxidante con diversos impactos sobre la tolerancia de la planta a estreses bióticos y abióticos. El objetivo principal de este estudio fue investigar la influencia del AS sobre el crecimiento y el rendimiento del girasol bajo condiciones salinas. El presente estudio se desarrolló en el Área de Investigación Agrícola de la Universidad Bahauddin Zakariya en Multan, en macetas llenas de tierra durante la primavera del 2016. La tierra aplicada era de naturaleza moderadamente salina (14.5 d Sm<sup>-1</sup>). El diseño experimental fue completamente aleatorio con un arreglo factorial 2×4 de los tratamientos: dos híbridos de girasol (S-278 y Hysun-33) y cuatro concentraciones de AS (testigo 0 mM SA, 10, 55 y 100 mM AS, aplicación foliar). El crecimiento del girasol en el testigo fue severamente afectado en el suelo salino, pero el efecto del estrés salino se redujo con un aspersor foliar de AS, que mejoró las variables de crecimiento y de rendimiento de ambos híbridos de girasol. La aplicación foliar de 10 mM AS mejoró la altura de la planta, el diámetro del tallo y contenido de clorofila bajo condiciones salinas, mientras que 10 mM de SA tuvieron una influencia positiva sobre el diámetro de la cabezuela, rendimiento de aquenio y contenidos de aceite, comparado con los otros tratamientos. Los híbridos S-278 tuvieron un desempeño significativamente mejor que el Hysun-33 en la altura de la planta y contenido de aceite. La aplicación foliar de 10 mM AS fue lo mejor para el girasol bajo suelos moderadamente salinos.

**Palabras clave:** contenidos de clorofila, rendimiento de aquenio, contenidos de aceite, girasol, rendimiento.

\* Author for correspondence ❖ Autor responsable.

Recibido: February, 2018. Aprobado: november, 2018.

Publicado como ARTICLE en *Agrociencia* 53: 207-217. 2019.

## INTRODUCTION

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is ranked 3<sup>rd</sup> in the world among oilseed crops (Ramula *et al.*, 2011) with 40-47 % oil and 20-27 % protein content in its seed (Saleem *et al.*, 2003). Sunflower oil is a good quality vegetable oil due to high levels of unsaturated fatty acids and low saturated fat. In Pakistan, it is the 2<sup>nd</sup> most essential oil crop (Zahoor *et al.*, 2011), and has great potential to fulfil the oil demand of the country (Bakht *et al.*, 2010). Sunflower can tolerate various abiotic stresses like high temperature (28-34 °C) and water stress, but it is sensitive to low temperature (Brouder and Volenec, 2008). Similarly, continuous dry spell with increasing salt concentrations in soil affect its production (Shakirova *et al.*, 2003); thus, salinity becomes critical and limits sunflower growth and development (Athar and Ashraf, 2005). The threat of salts increases and reduces the crop yield in vast agricultural areas in the world (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). The impact of salinity on plant growth and yield is particularly severe in arid and semi-arid areas (Ashraf, 2004) and in Pakistan it is significant due to abrupt change in climatic conditions, which is a great threat for agriculture production. Salinity limits crops growth by upsetting nutrient and water balance within plants and its surroundings (Munns and Tester, 2008). In arid and semiarid regions where soils are saline in nature, it is essential to enhance tolerance in sunflower to survive against salinity (Morsy *et al.*, 2007).

Salicylic acid (SA) is an essential natural signalling compound, which performs important functions to regulate plant physiological functions. It is a phenolic compound and has a relevant role in plant growth and development due to characteristics of an endogenous growth promoter (Hayat *et al.*, 2010). Exogenous application and treating seeds with SA increases its content in plants (Hayat *et al.*, 2005), stimulates plant potential to withstand abiotic and biotic stresses (Arfan *et al.*, 2007), alleviates effect of salt stress by improving the seed germination (Korkmaz, 2005), plant growth, development and rooting volume (Kang *et al.*, 2013). Moreover, SA improves physiological functions such as chlorophyll contents, photosynthetic rate, ion uptake and transport, stomata closure (Gunes *et al.*, 2005), and membrane permeability under saline soil (Barkosky

## INTRODUCCIÓN

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es el tercer cultivo de semillas oleaginosas más importante del mundo (Ramula *et al.*, 2011) con 40-47 % de aceite y 20-27 % de contenido de proteína en sus semillas (Saleem *et al.*, 2003). El aceite de girasol es un buen aceite vegetal debido a sus altos niveles de ácidos grasos no saturados y bajos contenidos de grasa saturada. En Pakistán, es el segundo cultivo aceitoso más esencial (Zahoor *et al.*, 2011), y tiene un gran potencial para satisfacer la demanda de aceite de dicho país (Bakht *et al.*, 2010). El girasol puede tolerar estreses abióticos como las temperaturas altas (28-34 °C) y el estrés hídrico, aunque es sensible a las bajas temperaturas (Brouder y Volenec, 2008). De forma similar, la sequía continua con concentraciones crecientes de sal en el suelo afecta su producción (Shakirova *et al.*, 2003); por ello la salinidad se vuelve crítica y limita el crecimiento y el desarrollo del girasol (Athar y Ashraf, 2005). La amenaza de la sal aumenta y reduce el rendimiento del cultivo en vastas regiones agrícolas del mundo (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). El impacto de la salinidad en el crecimiento y el rendimiento de la planta es en especial severo en áreas áridas y semiáridas (Ashraf, 2004) y en Pakistán es significativo debido al cambio abrupto en condiciones climáticas, lo cual es una gran amenaza para la producción agrícola. La salinidad limita el crecimiento del cultivo porque altera el balance de nutrientes y agua dentro de la planta y en sus alrededores (Munns y Tester, 2008). En regiones áridas y semiáridas, donde los suelos son salinos por naturaleza, es esencial aumentar la tolerancia en el girasol, para que pueda sobrevivir a la salinidad (Morsy *et al.*, 2007).

El ácido salicílico (AS) es un compuesto de señalización natural esencial que realiza tareas importantes para regular las funciones fisiológicas de la planta. Es un compuesto fenólico y tiene una labor relevante en el crecimiento y desarrollo de la planta debido a las características de un promotor de crecimiento endógeno (Hayat *et al.*, 2010). La aplicación exógena y el tratamiento de semillas con AS aumenta su contenido en las plantas (Hayat *et al.*, 2005), estimula el potencial de las plantas para soportar estreses bióticos y abióticos (Arfan *et al.*, 2007), reduce el efecto del estrés salino al mejorar la germinación de la semilla (Korkmaz, 2005), el crecimiento de la semilla, su desarrollo y volumen de enraizamiento (Kang *et al.*,

and Einhellig, 1993). Salicylic acid stimulates antioxidant potential in sunflower due to an increase in leaf peroxidase activity (Noreen and Ashraf, 2008) and increases the concentration of abscisic acid under stress condition, which overcomes the destructive influences of stress on plants (Ianovici, 2011).

Application of SA ameliorated sunflower growth by increasing biomass and photosynthetic rate under salt stress (Khan *et al.*, 2012). But tolerance of plants to abiotic stresses with SA depends upon type of species, amount of SA applied and method of application (Borsani *et al.*, 2001; Arfan *et al.*, 2007). Therefore, the objective of this study was to evaluate the impact of SA on growth, yield and quality characteristics of two sunflower hybrids cultivated under saline soil of a semi-arid region. The hypothesis was that sunflower hybrids show positive response with application of SA regarding production and quality under saline soil.

## MATERIALS AND METHODS

### Experimental site and layout

This study was carried out at Agronomic Research Area, Bahauddin Zakariya University, Multan (30.10°N, 71.25°E and 128 masl) during Spring 2016. The climate of the region is subtropical semi-arid with annual average rainfall of  $490 \pm 5$  mm, and more than 70 % of the rainfall occurs during June-September. Mean monthly minimum temperature is 13 °C in January and maximum temperature is 45 °C in July (Figure 1). Seeds of two sunflower hybrids S-278 and Hysun-33 (10 seeds each) were sown in earthen pots (25×40 cm<sup>2</sup>) filled with saline soil (14.5 dSm<sup>-1</sup>) in natural conditions. Soil was silty clay loam with 27 % sand, 55 % silt and 18.5 % clay, pH 8.01, 0.78 % organic matter, 0.038 % total nitrogen, 5.2 ppm available phosphorus, and 253 ppm available potassium.

A measured quantity of SA was dissolved in 1 L distilled water and the solution was stirred with a magnetic stirrer, and then heated at 150 °C for 5 min. Thinning of the plants was done after a week of germination and five plants were maintained in each pot. All agronomic practices were carried out constant in all pots. The SA treatments were applied at foliage with a small hand sprayer when plants were 0.5 m tall during vegetative growth stage.

### Variables

Three plants from each pot were randomly selected for data collection. Growth and yield were recorded before and after

2013). Además, el SA mejora funciones fisiológicas como el contenido de clorofila, la tasa fotosintética, el insumo y transporte de iones, el cierre de estomas (Gunes *et al.*, 2005), y la permeabilidad de la membrana en suelos salinos (Barkosky y Einhellig, 1993). El ácido salicílico estimula el potencial antioxidante en el girasol debido a un aumento en la actividad de peroxidasa en la hoja (Noreen y Ashraf, 2008) y aumenta la concentración de ácido abscísico bajo condiciones de estrés, lo cual ayuda a superar las influencias destructivas del estrés en plantas (Ianovici, 2011).

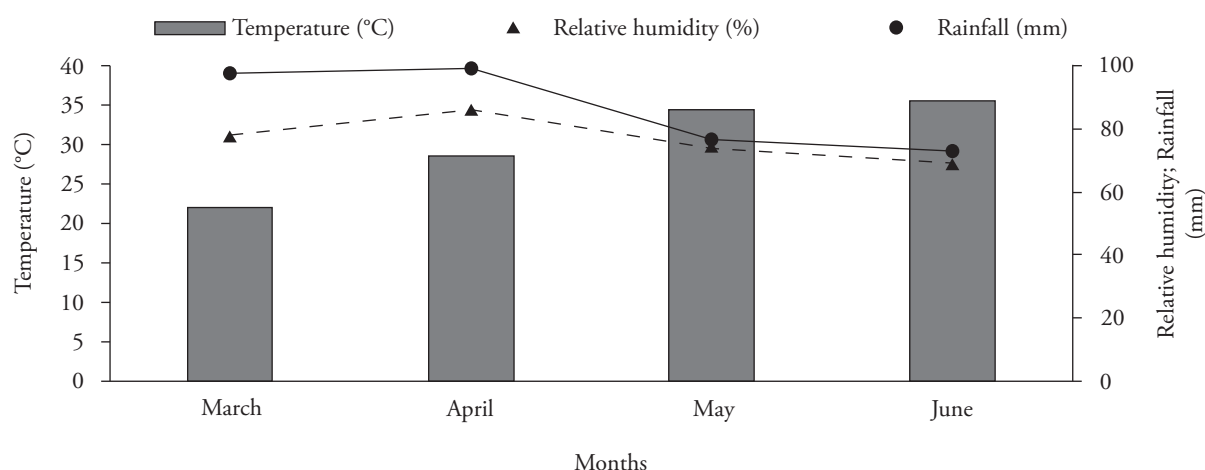
La aplicación de AS mejoró el crecimiento del girasol al aumentar la biomasa y la tasa fotosintética bajo condiciones de estrés salino (Khan *et al.*, 2012). Pero la tolerancia de las plantas al estrés abiótico con AS depende del tipo de especie, cantidad de AS aplicado y el método de aplicación (Borsani *et al.*, 2001; Arfan *et al.*, 2007). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el impacto del AS en el crecimiento, rendimiento y características de calidad de dos híbridos de girasol cultivados en suelo salino en una región semiárida. La hipótesis fue que los híbridos de girasol presentan una respuesta positiva con la aplicación de AS respecto a la producción y calidad en suelos salinos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio experimental y trazado

El presente estudio se desarrolló en el Área de Investigación Agrícola de la Universidad Bahauddin Zakariya en Multan, (30.10°N, 71.25°E y 128 msnm) durante la primavera del año 2016. El clima de la región es subtropical semiárido con una precipitación anual media de  $490 \pm 5$  mm y más del 70 % de las lluvias caen entre junio y septiembre. La temperatura mensual promedio es 13 °C, en enero, y la temperatura máxima es 45 °C, en julio (Figura 1). Las semillas de dos híbridos de girasol, S-278 y Hysun-33 (10 semillas de cada uno), se plantaron en macetas (25×40 cm<sup>2</sup>) llenas de tierra salina (14.5 dSm<sup>-1</sup>) en condiciones naturales. La tierra era franco limo arcilloso con 27 % de arena, 55 % limo y 18.5 % arcilla, pH 8.01, 0.78 % de material orgánica, 0.038 % de nitrógeno total, 5.2 ppm de fósforo disponible y 253 ppm de potasio disponible.

Una cantidad medida de AS se disolvió en 1 L de agua destilada y la solución se revolvió con un agitador magnético, y luego se calentó a 150 °C por 5 min. El adelgazamiento de las plantas se realizó después de una semana de germinación y se mantuvieron



**Figure 1. Meteorological data recorded at experimental site during 2016.**

**Figura 1. Datos meteorológicos registrados en el sitio experimental durante el 2016.**

harvesting the plants. Plant height (cm) was recorded when achenes from capitulum were threshed and counted to record the number of achenes per capitulum. Total achene weight (g) was recorded by weighing achenes from each capitulum separately on an electrical balance. Weight (g) of 1000-achene was recorded by counting 1000 achenes and weighing them on an electrical balance. Whole capitulum was dried and then its dry weight (g) was recorded. Total dry matter per plant (g) was measured by weighing a dried plant on an electrical balance. Biological yield ( $\text{kg plant}^{-1}$ ) was recorded by weighing the whole plant at harvesting with a meter rod. Stem diameter (cm) was recorded from bottom, middle and top of the plant with a vernier caliper and then averaged. Capitulum diameter (cm) was measured with a scale.

To measure the chlorophyll contents, three leaves were randomly chosen from each plant and leaf chlorophyll contents were observed with a chlorophyll meter (SPAD 502 plus Minolta, Japan). Oil contents of achenes were recorded with a Nuclear Magnetic Resonance apparatus (NMR; Model MQA 7005 Oxford instruments, USA) (Granlund and Zimmerman, 1975). Three achenes samples of 80 g were collected from each cultivar and each experimental unit, they were crushed and placed in Soxhlet extractor fitted with 1 L flask and a condenser. The extraction was accomplished through 0.5 L n-hexane on a water bath for 6 h. The solvent was distilled off in a vacuum under rotary evaporator and oil contents were recorded.

#### Experimental design and statistical analysis

The experimental design was completely randomized with a  $2 \times 4$  factorial arrangement of treatments, two sunflower hybrids:

cinco plantas en cada maceta. Todas las prácticas agronómicas se realizaron de forma constante en todas las macetas. Los tratamientos de AS se aplicaron en el follaje con un pequeño aspersor de mano cuando las plantas alcanzaron una altura de 0.5 m durante el estado de crecimiento vegetativo.

#### Variables

Tres plantas de cada maceta fueron seleccionadas al azar para la recolección de datos. El crecimiento y el rendimiento fueron registrados antes y después de cosechar las plantas. La altura de las plantas (cm) se registró cuando los achenes de los capítulos se trillaron y contaron para registrar el número de achenes por capítulo. El peso total de los achenes (g) se registró pesando los achenes de cada capítulo de manera separada en una báscula eléctrica. El peso (g) de 1000 achenes se registró al contar 1000 achenes y pesarlos en una báscula eléctrica. El capítulo entero se secó y después se registró su peso seco (g). La materia seca total de cada planta (g) se midió al pesar una planta seca en una báscula eléctrica. El rendimiento biológico ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) se registró al pesar toda la planta a la cosecha con un metro de madera. El diámetro del tallo (cm) se registró en las partes baja, media y superior de la planta con un calibrador y después se promedió. El diámetro del capítulo (cm) se midió con una escala.

Para medir los contenidos de clorofila se tomaron tres hojas al azar de cada planta y los contenidos de clorofila se observaron con un medidor de clorofila (SPAD 502 plus Minolta, Japón). Los contenidos de aceite de los achenes se registraron con un aparato de Resonancia Magnética Nuclear (NMR; Modelo MQA 7005 Oxford instruments, EE.UU.) (Granlund y Zimmerman, 1975). Tres muestras de achenes de 80 g se tomaron de cada

S-278 and Hysun-33; and four SA: 10 mM SA, 55 mM SA, 100 mM SA, 0 mM SA (control). The data was analyzed with ANOVA and treatment means were compared with LSD test ( $p \leq 0.05$ ). Correlation coefficients were calculated in Microsoft Excel ( $p \leq 0.1$ ;  $p \leq 0.01$ ;  $n=3$ ) to find the relationship among traits of sunflower hybrids. Graphical presentation of the data with Standard error bars was made in Microsoft Excel.

## RESULTS AND DISCUSSION

Exogenous application of SA had significant effects on sunflower growth, yield and oil content under saline soil (Figures 2 and 3). Sunflower growth and development is hampered under saline conditions by severely affected physiological functions within the plants (Naz and Bano, 2013). Salicylic acid is an effective growth hormone, which sustained the plant body against the effect of various biotic, as well as abiotic stresses (Arfan *et al.*, 2007). The promising effects of SA were observed in different growth attributes of both tested sunflower hybrids. From both cultivars, Hysun-33 expressed 20.2 % more plant height in saline soil than S-278 (Figure 2). The trend of SA concentrations showed that 10 mM SA produced 4.05 % higher plant height as compared to the control, while 55 mM SA and 100 mM SA were statistically similar. Moreover, Hysun-33 with 55 mM SA produced 25.33 % higher plant height than S-278 with 10 mM SA. Plant height of S-278 with 55 mM SA and control was statistically similar (Figure 2). Stem diameter of S-278 was 10.87 % greater than Hysun-33 (Figure 2). Improvement in plant height and stem diameter of both hybrids confirmed SA role as growth hormone and improved these variables under salinity (Ebtessam *et al.*, 2015). Furthermore, SA improves the sunflower growth by initiation of soluble sugar consumption in plants (Zahra *et al.*, 2010).

Chlorophyll contents of sunflower hybrids showed significant response to SA application (Figure 2). Thus, 10 mM and 55 mM SA produced 5.63 % higher chlorophyll contents than the other treatments. Hybrid S-278 with 10 mM SA and Hysun-33 with 55 mM SA showed 14 % higher chlorophyll contents than Hysun-33 with control. Moreover, S-278 in control, 55 mM SA and Hysun-33 with 100 mM SA and S-278 with 100 mM SA and Hysun-33 with 10 mM SA were statistically similar. Between the two hybrids, S-278 produced 2.39 %

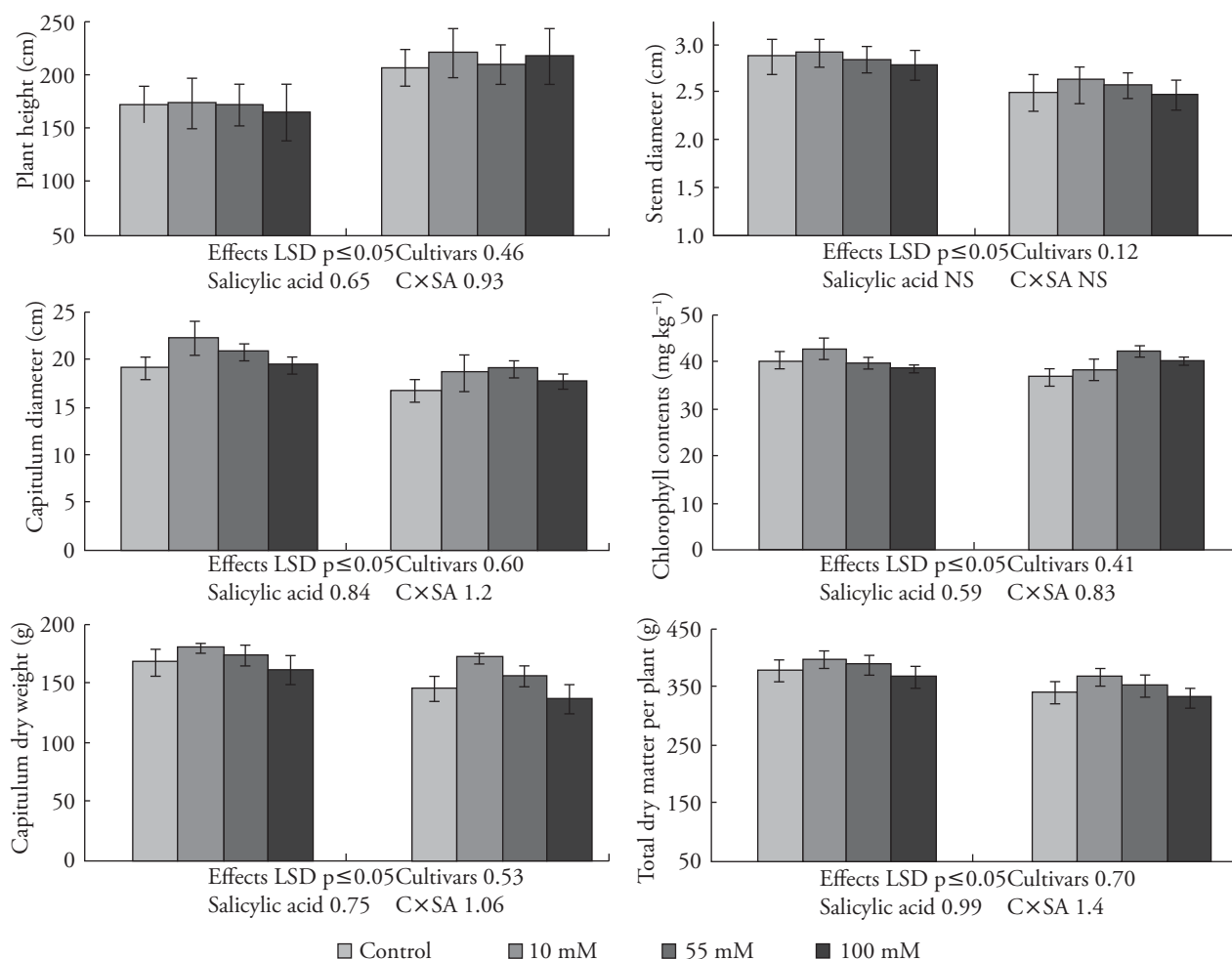
cultivar y cada unidad experimental, se trituraron y colocaron en un extractor Soxhlet con un matraz de 1 L y un condensador. La extracción se logró con 0.5 L n-hexano en baño maría por 6 h. El solvente se destiló al vacío bajo un evaporador rotatorio y los contenidos de aceite se registraron.

### Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente aleatorio con un arreglo factorial  $2 \times 4$  de los tratamientos: dos híbridos de girasol (S-278 y Hysun-33) y cuatro AS (10 mM SA, 55 mM SA, 100 mM SA y 0 mM SA [testigo]). Los datos se analizaron con un ANDEVA y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de LSD ( $p \leq 0.05$ ). Los coeficientes de correlación se calcularon en Microsoft Excel ( $p \leq 0.1$ ;  $p \leq 0.01$ ;  $n=3$ ) para encontrar la relación entre los rasgos de híbridos de girasol. Una presentación gráfica de los datos se realizó con barras de error estándar en Microsoft Excel.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación exógena de AS tuvo efectos significativos sobre el crecimiento, rendimiento y contenido de aceite del girasol en suelo salino (Figuras 2 y 3). El crecimiento y desarrollo del girasol están obstruidos bajo condiciones salinas debido a funciones fisiológicas severamente afectadas dentro de las plantas (Naz y Bano, 2013). El ácido salicílico es una hormona del crecimiento efectiva que mantiene al cuerpo de la planta contra los efectos de varios estreses, bióticos y abióticos (Arfan *et al.*, 2007). Los efectos prometedores del AS se observaron en diferentes atributos del crecimiento de ambos híbridos de girasol. De ambos cultivares, Hysun-33 presentó una altura 20.2 % mayor en suelo salino que S-278 (Figura 2). La tendencia de las concentraciones de AS mostró que 10 mM SA produjeron una altura de la planta 4.05 % mayor comparado con el testigo, mientras que 55 mM AS y 100 mM AS fueron estadísticamente similares. Además, Hysun-33 con 55 mM AS produjo una altura de la planta 25.33 % mayor que S-278 con 10 mM AS. La altura de la planta S-278 con 55 mM AS y testigo fueron estadísticamente similares (Figura 2). El diámetro del tallo de S-278 fue 10.87 % mayor que Hysun-33 (Figura 2). Las mejorías en la altura de la planta y el diámetro del tallo en ambos híbridos confirmaron la función de AS como hormona del crecimiento y mejoraron estas variables bajo salinidad (Ebtessam *et al.*, 2015). Además, AS mejoró el

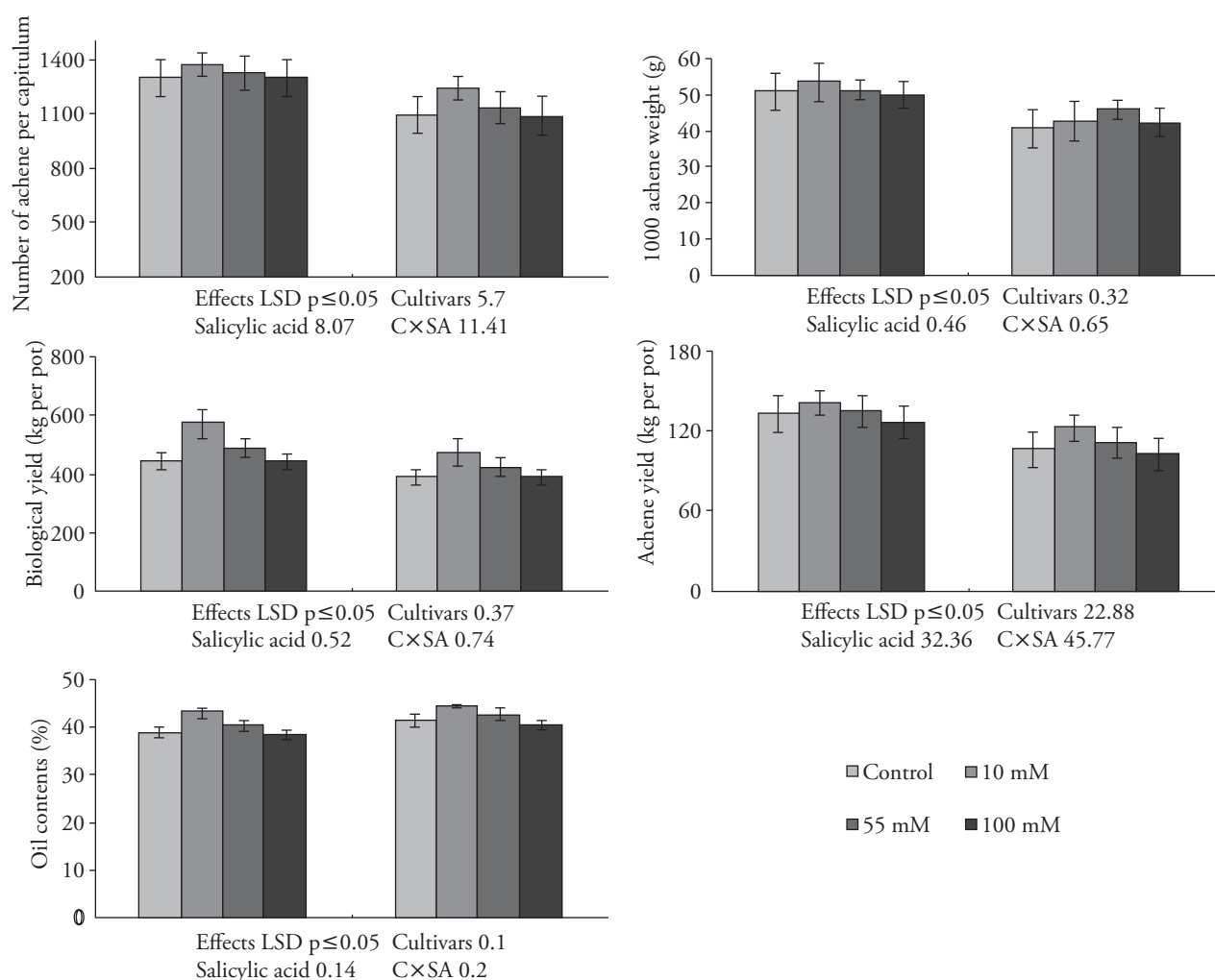


**Figure 2. Growth variables of sunflower in saline soil as affected by exogenous application of salicylic acid.**  
**Figura 2. Variables de crecimiento de girasol en suelo salino bajo los efectos de la aplicación exógena de ácido salicílico.**

more chlorophyll than Hysun-33. Significant results of SA achieved if it is applied at the vegetative stage (He *et al.*, 2005). The main target of SA is to develop tolerance under salt stress by improving chlorophyll and photosynthetic components, as well as their regulation and translocation from source to sink (Fariduddin *et al.*, 2003; Arfan *et al.*, 2007). Salicylic acid improves the photosynthesis process, which is due to an increment in chlorophyll pigments, which have a stimulatory effect on Rubisco enzyme (Khodary, 2004) and, besides, improve the photosynthetic capacity,  $\text{CO}_2$  assimilation and mineral uptake (Szepesi *et al.*, 2005). Salicylic acid behaves as an antioxidant substance, which protect the photosynthetic machinery under stress condition through removing the excessively reactive oxygen

crecimiento del girasol mediante la iniciación del consumo de azúcar soluble en plantas (Zahra *et al.*, 2010).

Los contenidos de clorofila de los híbridos de girasol presentaron respuestas significativas a la aplicación de AS (Figura 2). Así, 10 mM y 55 mM de AS produjeron contenidos de clorofila 5.63 % más altos que los demás tratamientos. El híbrido S-278, con 10 mM AS, y Hysun-33, con 55 mM AS, presentaron contenidos de clorofila 14 % más altos que el Hysun-33 con el testigo. Además, S-278 en el testigo, 55 mM AS y Hysun-33 con 100 mM AS y S-278 con 100 mM AS y Hysun-33 con 10 mM AS fueron estadísticamente similares. Entre ambos híbridos, S-278 produjo 2.39 % más clorofila que Hysun-33. Resultados significativos de AS se logran si se aplica en el estado vegetativo (He *et al.*, 2005). El objetivo



**Figure 3. Yield variables of sunflower in saline soil as affected by exogenous application of salicylic acid.**  
**Figura 3. Variables de rendimiento de girasol en suelo salino bajo los efectos de la aplicación exógena de ácido salicílico.**

species (ROS). Thus, it enhanced the resistance and controlled the concentration of ROS within the tissues of plants under stress condition (Sreenivasulu *et al.*, 2000).

A higher capitulum diameter (11.69 %) was recorded in S-278, as compared to Hysun-33 (Figure 2). Exogenous application of 10 mM SA and 55 mM SA produced 12.54 % higher capitulum diameter than control and 100 mM SA. Hybrid S-278 with 10 mM SA were 25 % thicker than Hysun-33 with 0 mM SA i.e. control. Likewise, 10 mM SA produced 10.69 % higher capitulum dry weight than the other treatments. Sunflower hybrid S-278 with 10 mM SA recorded 24 % higher capitulum dry weight than Hysun-33 with 10 mM SA and the other treatments. The cultivar S-278 presented 10.64 % higher capitulum diameter than Hysun-33 (Figure 2).

principal del AS es desarrollar la tolerancia al estrés salino mejorando la clorofila y componentes fotosintéticos, así como su regulación y translocación de la fuente al sumidero (Fariduddin *et al.*, 2003; Arfan *et al.*, 2007). El ácido salicílico mejora el proceso fotosintético, lo cual se debe a un aumento en los pigmentos clorofílicos, que tiene un efecto estimulante en la enzima Rubisco (Khodary, 2004) y también mejora la capacidad fotosintética, asimilación de CO<sub>2</sub> y la absorción de minerales (Szepesi *et al.*, 2005). El ácido salicílico reacciona como sustancia antioxidante, que protege la maquinaria fotosintética bajo condiciones de estrés, eliminando las especies excesivamente reactivas al oxígeno (ROS). Por ello, aumentó la resistencia y controló la concentración de ROS dentro de los tejidos de plantas bajo condiciones de estrés (Sreenivasulu *et al.*, 2000).

S-278 produced 9.22 % higher total dry matter per plant than Hysun-33 (Figure 2). Besides, 10 mM SA increased dry matter per plant by 5.48 % as compared to the other SA treatments. And S-278 with 10 mM SA gave 17 % more dry matter than Hysun-33 with 10 mM SA. These results are similar to those of Liu *et al.* (2003 and 2004) who concluded that application of SA enhanced the plant growth and yield attributes, specially capitulum development under salt stress.

Salicylic acid concentration of 10 mM increased 8.90 % the number of achene per capitulum as compared to control. Mutual interaction of cultivars with SA concentration under saline soil presented maximum number of achene per capitulum in S-278 with 10 mM SA that was 21 % higher than Hysun-33 with 10 mM SA. Under saline soil, S-278 attained 13.91 % more achene per capitulum than Hysun-33 (Figure 3). Maximum 1000-achene weight was recorded in 55 mM SA with 6.28 % higher than control and 100 mM SA. Between hybrids, S-278 produced 16.57 % more 1000-achene weight than Hysun-33 (Figure 3). Biological yield with 10 mM SA was 20.22 % higher than control and 100 mM SA, 32 % higher in S-278 with 10 mM SA than Hysun-33 with 0 and 100 mM SA, and 13.69 % higher with S-278 than Hysun-33 (Figure 3). Due to growth and yield related traits, achene yield of sunflower was also affected by exogenous application of SA. Thus, 10 mM SA produced 12.74 % higher yield than 100 mM SA, but S-278 with control and 10 mM SA and Hysun-33 with control and 100 mM SA were statistically similar. S-278 with 10 mM SA showed higher yield compared to other SA treatments, while Hysun-33 with 100 mM SA had 27 % lower yield than S-278 with 10 mM, 55 mM and control, which were similar. Sharma and Kaur (2003) showed that exogenously applied SA increased the number of achenes per capitulum in sunflower, under no stress conditions, but our results were obtained in naturally saline soil. The improvement in yield of sunflower under such conditions by foliar application of SA shows that plants become tolerant against saline stress. Increase in salinity tolerance in sunflower hybrids is due to improved physiological functions (Arfan *et al.*, 2007). Moreover, it enhanced the vegetative growth through activation of translocates and photosynthetic products from source to sink.

Exogenous application of SA improved biological yield of sunflower as compared to other treatments

Un diámetro mayor de capítulo (11.69 %) se registró en S-278, comparado a Hysun-33 (Figure 2). La aplicación exógena de 10 mM AS y 55 mM AS produjo diámetros de capítulos 12.54 % más grandes que el testigo y 100 mM AS. El híbrido S-278 con 10 mM AS fueron 25 % más gruesos que Hysun-33 with 0 mM SA i.e. testigo. Asimismo, 10 mM AS produjeron un peso seco de capítulo 10.69 % mayor al de los demás tratamientos. El híbrido de girasol S-278 con 10 mM AS registraron un peso seco de capítulo 24 % mayor que Hysun-33 con 10 mM AS y otros tratamientos. El cultivar S-278 presentó un diámetro de capítulo 10.64 % más grande que Hysun-33 (Figura 2).

El S-278 produjo una materia seca total 9.22 % mayor por planta que Hysun-33 (Figura 2). Además, 10 mM AS aumentó la materia seca por planta en 5.48 % en comparación con los otros tratamientos AS y S-278, con 10 mM AS dió 17 % más materia seca que Hysun-33 con 10 mM SA. Estos resultados son similares a los de Liu *et al.* (2003 y 2004), quienes concluyeron que la aplicación de la AS mejoró el crecimiento de la planta y los atributos de rendimiento, en especial el desarrollo del capítulo bajo condiciones de estrés salino.

La concentración de ácido salicílico de 10 mM aumentó en 8.90 % el número de achenios por capítulo, comparado con el testigo. La interacción mutua de cultivares con concentraciones de AS en suelos salinos presentaron un número máximo de achenios por capítulo en S-278 con 10 mM SA que fue 21 % mayor que Hysun-33 con 10 mM AS. En un suelo salino, S-278 obtuvo 13.91 % más achenios por capítulo que Hysun-33 (Figura 3). Un peso máximo de 1000-achenios se registró en 55 mM AS con 6.28 % más que el testigo y 100 mM AS. Entre híbridos, S-278 produjo un peso 16.57 % mayor de 1000-achenios que Hysun-33 (Figura 3). El rendimiento biológico con 10 mM AS fue 20.22 % mayor que el testigo y 100 mM AS fue 32 % mayor en S-278 con 10 mM AS que Hysun-33 con 0 y 100 mM AS, y 13.69 % mayor con S-278 que Hysun-33 (Figura 3). Debido a características de crecimiento y relacionadas al rendimiento, el rendimiento de achenios en girasol también se afectó por la aplicación exógena de AS. Así, 10 mM de AS generó un rendimiento 12.74 % mayor que 100 mM AS, aunque S-278 con testigo y 10 mM AS y Hysun-33 con testigo y 100 mM SA fueron estadísticamente similares. El S-278 con 10 mM AS generó un rendimiento

under salinity (Bukhsh *et al.*, 2009). A strong correlation among different growth and yield variables improved plant strength against salinity and increased sunflower yield. Regarding oil contents, Hysun-33 produced 4.59 % higher oil than S-278 (Figure 3) while 10 mM SA showed 10.28 % more oil contents than other treatments. Hysun-33 with 10 mM SA produced 14 % higher oil contents than S-278 with 100 mM SA, but S-278 with 55 mM SA and Hysun-33 with 100 mM SA showed similar results (Figure 3). Exogenous application of SA also improved oil contents in achenes of sunflower under salinity stress. Enhancement in nutrients uptake and vegetative growth might be a reason for oil content improvement (Gharib, 2006; Çag *et al.*, 2009).

There was a strong relationship between achene and biological yield of sunflower hybrids with different growth and yield traits: capitulum dry weight, total dry matter, number of achenes per capitulum, 1000-achene weight and chlorophyll contents (Table 1). However, relationship of growth and yield related variables with oil contents was not up to the level of significance. Relationship between oil content and 1000-achene weight was negative (Table 1).

## CONCLUSIONS

Exogenous application of SA on the foliage of sunflower during early vegetative stage improved sunflower tolerance against salinity. Application of SA enhanced the growth and yield of sunflower hybrids under saline soil conditions.

## ACKNOWLEDGMENT

We acknowledge the financial support for this study from Directorate of Research, Bahauddin Zakariya University, Multan, Pakistan.

mayor en comparación con otros tratamientos de AS, mientras que Hysun-33 con 100 mM AS tuvo un rendimiento 27 % menor que S-278 con 10 mM, 55 mM y el testigo, los cuales fueron similares. Sharma y Kaur (2003) demostraron que la aplicación exógena de AS aumentó el número de aquenios por capítulo en girasol, sin condiciones de estrés, pero nuestros resultados se obtuvieron en un suelo naturalmente salino. La mejora en el rendimiento de girasol en tales condiciones por la aplicación foliar de AS demuestra que las plantas se vuelven tolerantes al estrés salino. El aumento en la tolerancia a la salinidad en híbridos de girasol se debe a las mejoras en las funciones fisiológicas (Arfan *et al.*, 2007). Además, mejora el crecimiento vegetativo a través de la activación de translocados y productos fotosintéticos de la fuente al sumidero.

La aplicación exógena de AS mejoró el rendimiento biológico de girasol comparado con otros tratamientos bajo salinidad (Bukhsh *et al.*, 2009). Una fuerte correlación entre diferentes variables de crecimiento y rendimiento mejoró la tolerancia de la planta a la salinidad y aumentó el rendimiento del girasol. Respecto a los contenidos de aceite, Hysun-33 generó 4.59 % más aceite que S-278 (Figura 3), mientras que 10 mM AS presentó 10.28 % más contenidos de aceite que otros tratamientos. Hysun-33 con 10 mM AS generó contenidos de aceite 14 % mayores que S-278 con 100 mM AS, pero S-278 con 55 mM AS y Hysun-33 con 100 mM AS presentaron resultados similares (Figura 3). La aplicación exógena de AS también mejoró los contenidos de aceite en los aquenios de girasol bajo estrés salino. La mejora en la absorción de nutrientes y de crecimiento vegetativo podría ser una razón para la mejora en contenido de aceite (Gharib, 2006; Çag *et al.*, 2009).

Hubo una fuerte relación entre el aquenio y el rendimiento biológico de híbridos de girasol con diferentes características de crecimiento y rendimiento: peso

**Table 1. Correlation coefficients (r) of growth and yield related variables of sunflower as effected by salicylic acid.**  
**Cuadro 1. Coeficientes de correlación (r) de variables relacionadas con el crecimiento y rendimiento de girasol bajo los efectos del ácido salicílico.**

	Capitulum dry weight	Total dry matter	Number of achenes	1000-achene weight	Chlorophyll content
Oil content	0.56	0.35	0.23	-0.09	0.46
Biological yield	0.96 <sup>‡</sup>	0.90 <sup>†</sup>	0.90 <sup>†</sup>	0.68	0.74
Achene yield	0.94 <sup>†</sup>	0.99 <sup>‡</sup>	0.99 <sup>‡</sup>	0.90 <sup>†</sup>	0.62

<sup>†</sup>p≤0.1; <sup>‡</sup>p≤0.01; n=3.

## LITERATURE CITED

- Arfan, M., A. Habib, and M. Ashraf. 2007. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? *J. Plant Physiol.* 164: 685-694.
- Ashraf, M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora.* 199: 361-376.
- Athar, H. R., and M. Ashraf. 2005. Photosynthesis under drought stress. *In: Pessaraki, M. (ed). Handbook of Photosynthesis.* CRC Press, Taylor and Francis Group, New York. pp: 793-804.
- Bakht, J., M. Shafi, M. Yousaf, Raziuddin, and M. A. Khan. 2010. Effect of irrigation on physiology and yield of sunflower hybrids. *Pak. J. Bot.* 42: 1317-1326.
- Barkosky, R. R., and F. A. Einhellig. 1993. Effects of salicylic acid on plant water relationship. *J. Chem. Ecol.* 19: 237-247.
- Borsani, O., V. Valpuesta, and M. A. Botella. 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Physiol.* 126: 1024-1034.
- Brouder, S. M., and J. J. Volenec. 2008. Impact of climate change in crop nutrient and water use efficiencies. *Physiol. Plant.* 133: 705-724.
- Bukhsh, M. A. H. A., A. U. Malik, M. Ishaque, and S.H. Sadiq. 2009. Performance of sunflower in response to exogenously applied salicylic acid under varying irrigation regimes. *J. Anim. Plant Sci.* 19: 130-134.
- Çag, S., C. C. Gul, M. Sarsag, and N. Goren-Saglam. 2009. Effect of salicylic acid on pigment, protein content and peroxidase activity in excised sunflower cotyledons. *Pak. J. Bot.* 41: 2297-2303.
- Ebtessam, A. Y., M. A. Ahmed, M. B. Nadia, M. A. F. Shalaby, and K. M. G. El-Din. 2015. Alleviation of drought effect of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cv. Sakha-53 cultivar by foliar spraying with antioxidant. *Middle-East J. Agri. Res.* 4: 796-801.
- Fariduddein, Q., S. Hayat, and A. Ahmad. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica* 41: 281-284.
- Gharib F. A. 2006. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *Int. J. Agri. Biol.* 8: 485-492.
- Granlund, M., and D. C. Zimmerman. 1975. Effects of drying conditions on oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as determined by wide-line nuclear magnetic resonance (NMR). *Proc. North Dakota Acad. Sci.* 27: 128-132.
- Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, N. Cicek, E. Guneri, F. Eraslan, and T. Guzelordu. 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). *Arch. Agron. Soil Sci.* 51: 687-695.
- Hasanuzzaman, M., K. Nahar, and M. Fujita. 2013. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. *In: Ahmad, P., M. M. Azooz, and M. N. V. Prasad (eds). Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress.* Springer, New York. pp: 25-87.
- seco de capítulo, materia seca total, número de aquenios por capítulo, peso de 1000-aquenios y contenidos de clorofila (Cuadro 1). Sin embargo, la relación de las variables vinculadas al crecimiento y al rendimiento con los contenidos de aceite no estuvo al nivel de significancia. La relación entre contenidos de aceite y el peso de 1000-aquenios fue negativa (Tabla 1).

## CONCLUSIONES

La aplicación exógena de AS en el follaje de girasol en cada etapa vegetativa mejoró la tolerancia del girasol hacia la salinidad. La aplicación de AS aumentó el crecimiento y el rendimiento de los híbridos de girasol bajo condiciones salinas.

—Fin de la versión en Español—



- Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan, and A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environ. Exp. Bot.* 68: 14-25.
- Hayat, S., Q. Fariduddin, B. Ali, and A. Ahmad. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agron. Hung.* 53: 433-437.
- He, Y., Y. Liu, W. Cao, M. Huai, B. Xu, and B. Huang. 2005. Effects of salicylic acid on heat tolerance associated with anti-oxidant metabolism in Kentucky blue grass. *Crop Sci.* 45: 988-995.
- Ianovici, N. 2011. Histoanatomical and ecophysiological studies on some halophytes from Romania-Plantago schwarzenbergiana. *Ann. West University of Timișoara ser Biol.* 14: 53-64.
- Kang, G. Z., G. Z. Li, G. Q. Liu, W. Xu, X. Q. Peng, and C. Y. Wang. 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.
- Khan, S. U., A. Bano, J. Din, and A. R. Gurmani. 2012. Abscisic acid and salicylic acid seed treatment as potent inducer of drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Bot.* 44: 43-49.
- Khodary, S. E. A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *Int. J. Agri. Biol.* 6: 5-8.
- Korkmaz, A. 2005. Inclusion of acetyl salicylic acid and methyl jasmonate in to the priming solution improves low-temperature germination and emergence of sweet pepper. *Hortic. Sci.* 40: 197-200.
- Liu, D., W. Jiang, and X. Gao. 2003/4. Effect of cadmium on root growth, cell division and nucleoli in root tip cells of garlic. *Biol. Plant. (Prague)* 47: 79-83.

- Morsy, M. R., L. Jouve, J. Hausman, L. Hoffmann, and J. M. D. Stewart. 2007. Alteration of oxidative and carbohydrate metabolism under abiotic stress in two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes contrasting in chilling tolerance. *J. Plant Physiol.* 164: 157-167.
- Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
- Naz, R., and A. Bano. 2013. Influence of exogenously applied salicylic acid and plant growth promoting rhizobacteria inoculation on the growth and physiology of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under salt stress. *Pak. J. Bot.* 45: 367-373.
- Noreen, S., and M. Ashraf. 2008. Alleviation of adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of salicylic acid: growth and photosynthesis. *Pak. J. Bot.* 40: 1657-1663.
- Ramula, N. K., Murthy, H. M. Jayadeva, M. M. Venkatesha, and H. S. R. Kumar. 2011. Seed yield and nutrient uptake of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as influenced by different levels of nutrients under irrigated condition of eastern dry zone of Karnataka, India. *Plant Arch.* 11: 1061-1066.
- Saleem, R., M. U. Farooq, and R. Ahmad. 2003. Bio-economic assessment of different sunflower based intercropping system at different geometric configurations. *J. Biol. Sci.* 6: 1187-1190.
- Shakirova, F., A. Sakhabutdinova, M. Bezrukova, R. Fatkhutdinova, and D. Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sci.* 164: 317-322.
- Sharma, K., and S. Kaur. 2003. Effect of salicylic acid, acetic acid and light intensity on yield and yield contributing parameters in soybean. *Environ. Ecol.* 21: 332-335.
- Sreenivasulu, N., B. Grimm, U. Wobus, and W. Weschke, 2000. Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedlings of foxtail millet (*Setaria italica*). *Physiol. Plant.* 109: 435-440.
- Szepesi, Á., J. Csiszár, Sz. Bajkán, K. Gémes, F. Horváth, L. Erdei, A. Deér, L.M. Simon, and I. Tari. 2005. Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt- and osmotic stress. *Acta Biol. Szeged.* 49: 123-125.
- Zahoor, R., S. M. A. Basra, H. Munir, M. A. Nadeem, and S. Yousaf. 2011. Roll of Boron in improving assimilate partitioning and achene yield in sunflower. *J. Agri. Soc. Sci.* 7: 49-55.
- Zahra, S., B. Amin, V. S. M. Ali, Y. Ali, and Y. Mehdi. 2010. The salicylic acid effect on the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sugar, protein and proline contents under salinity stress (NaCl). *J. Biophys. Struct. Biol.* 2: 35-41.

