

Efecto del cadmio en los parámetros germinativos del trigo harinero

Y. Bouziani[§]
H. Degaichia
M. Benmoussa

Facultad de Ciencias de la Naturaleza y la Vida-Departamento de las biotecnologías-Universidad Blida1.
PB 270, rutas de Soumâa, Blida (Argelia). Tel. y Fax. 00 (213) 254334.

[§]Autor para correspondencia: bouziani.ymn@gmail.com.

Resumen

El trigo es una planta cultivada en gran parte por sus semillas y su paja, por lo que es necesario investigar variedades tolerantes a este elemento peligroso para la planta o la salud humana. Sus concentraciones aumentan día tras día en el suelo, considerando el desarrollo de la agricultura, que implica las contribuciones intensivas de este elemento metálico. Los objetivos de este estudio son probar el efecto de un rango de concentración de cadmio de 0 a 200 mg L⁻¹ Cd⁺² en los parámetros de germinación de dos variedades de trigo harinero Anza e Hiddab. Los resultados muestran que la fitotoxicidad aumenta, de acuerdo con el aumento en la cantidad de Cd en la tasa de germinación, la longitud de la raíz y el brote, el peso seco de la raíz y el brote y el índice de tolerancia en comparación con el control para ambas variedades estudiadas; sin embargo, la variedad Hiddab muestra más sensibilidad en comparación con la variedad Anza. El efecto inhibitorio del cadmio en la etapa de germinación puede continuar en las etapas avanzadas del ciclo de la planta y alterar sus aspectos fisiológicos.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., cadmio, fitotoxicidad, índice de tolerancia.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: marzo de 2019

Introducción

Los rastros de elementos metálicos son constituyentes naturales de todos los ecosistemas (la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera y la biosfera). Su distribución procede de dos orígenes: el natural es el resultado de procesos geogenéticos como la erosión, la precipitación geoquímica de rocas y alguna fuente de agua, la actividad volcánica y bacteriana (Baize y Sterckeman, 2013). Otro, revela actividades antropogénicas. De hecho, los últimos años, el desarrollo de las actividades industriales provocó un aumento considerable de su contenido en el entorno donde pueden llegar de varias maneras. En forma de gas, partículas disueltas o unidas, los contaminantes del transporte pueden penetrar en el suelo por medios de aire (acumulación seca), al usar el agua como vector (precipitación, agua superficial, acumulación húmeda). A través de sólidos orgánicos como aguas residuales, compost, fertilizantes, especialmente fertilizantes fosfatados y pesticidas, etc.

En los vegetales, ciertos ETM son esenciales para los principales procesos fisiológicos, en particular la respiración, la fotosíntesis o la asimilación de los elementos nutritivos (Cu, Zn, Ni, Fe, Co) (Kabata-Pendias y Pendias, 2001). Algunos de ellos también están involucrados en procesos moleculares como el control de la expresión de los genes, la biosíntesis de proteínas, ácidos nucleicos, sustancias de crecimiento, algunos en la clorofila y los metabolitos secundarios, el metabolismo de los lípidos o la tolerancia al estrés (Rengel, 1999). Por lo tanto, desempeñan un papel muy importante en los múltiples sistemas enzimáticos que implican reacciones de reducción de oxígeno (Chaignon, 2001). Sin embargo, actualmente el ETM no tiene todas las funciones conocidas en el metabolismo de la planta y en algunas se consideran como elementos tóxicos (Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

Todos los metales pesados pueden, desde un umbral de concentración, provocar toxicidad en las plantas. Varios estudios demostraron que la presencia de rastros de elementos metálicos y más particularmente, de Cd en el entorno de cultivo puede expresarse, más allá de un umbral límite, por la aparición de síntomas de envenenamiento, acompañados de una inhibición del crecimiento de las plantas, con una reducción de la fotosíntesis y con una disminución de los elementos nutritivos (Verbruggen *et al.*, 2009; DalCorso *et al.*, 2013). Como resultado de sus propiedades físicas y químicas, similares al zinc y al calcio, le permiten cruzar las barreras biológicas y acumularse en los tejidos; por lo que se identificó como un contaminante extremadamente tóxico (Godt *et al.*, 2006). Cualquiera que sea su origen, el cadmio presente en el suelo no se descompone ni por vía química ni por vía biológica. Se acumula en la superficie de los terrenos y puede ser arrastrado por el agua de escorrentía para afectar las aguas profundas. En este caso, puede ser absorbido por las plantas, lo que representa un problema importante para la salud humana. Una exposición en el cadmio produce una gran cantidad de efectos dañinos, lesiones renales y el cáncer aparece entre los más graves (Godt *et al.*, 2006).

En cuanto al trigo, constituye el alimento básico de un tercio de la humanidad, aportándole calorías y proteínas, más que cualquier otra planta cultivada, por lo que necesita contribuciones en elementos fertilizantes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio para completar la falta de la parte suministrada por el suelo que siempre es insuficiente para una producción óptima. Como muchas plantas la fase de germinación es sensible a los factores ambientales; se estudiará un rango de concentraciones de cadmio para determinar su fitotoxicidad en dos variedades de trigo común *Triticum aestivum* L.

Materiales y métodos

El ensayo de germinación se realizó en el laboratorio de biotecnología del departamento de agronomía de la Universidad de Blida1. En este estudio se utilizaron dos variedades de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) Anza e Hiddab ampliamente utilizados por los agricultores.

Las semillas fueron suministradas por el ITGC (Instituto técnico de los cultivos de campo), se desinfectaron en hidróclorito de sodio al 2% durante 10 minutos y luego se enjuagaron con agua destilada para eliminar las contaminaciones fúngicas. Se colocan en cajas Petri de 10 cm de diámetro y se humedecen con 10 ml de agua destilada en relación con el testigo o la solución de cadmio. La prueba se realizó con 100 granos/variedad, luego 10 granos/caja expuestos a concentraciones crecientes de cloruro de cadmio, respectivamente, como 0, 50, 100, 150 y 200 mg/l. Las cajas de Petri se mantienen en la oscuridad a 25 °C durante 7 días. Después de siete días de germinación, se tomaron 10 plántulas de cada caja de Petri para medir la longitud del tallo y las raíces, así como el peso fresco y el peso seco después de secar en la sala de vapor durante 72 horas a 70 °C. El porcentaje de germinación es el número acumulado de semillas germinadas computadas al séptimo día, incluidas las que tienen una raicilla moderada superior a 2 mm (Soltani *et al.*, 2006).

Para estimar la influencia de las concentraciones crecientes de cadmio en la germinación de las variedades de trigo harinero Anza e Hiddab, calculamos la tasa de germinación, la longitud de los coleoptiles, la longitud de la raíz, el peso seco de los coleoptiles y las raíces.

Índice de tolerancia (TI) = $\frac{\text{Longitud media de la raíz en solución metálica}}{\text{Longitud media de la raíz en agua destilada}} \times 100$ (Iqbal and Rahmati, 1992).

Fitotoxicidad del tallo (%).

$\frac{\text{Longitud del vástago de control} - \text{Longitud del vástago del tratamiento}}{\text{Longitud del vástago de control}} \times 100$

Fitotoxicidad de la raíz (%).

$\frac{\text{Longitud de la raíz del control} - \text{longitud de la raíz del tratamiento}}{\text{Longitud de la raíz del control}} \times 100$

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se calculó mediante el software SPSS® versión 2000 para Windows™. La comparación entre los promedios de los diversos tratamientos también ha sido establecida por una Anova seguida por la prueba de Tukey para la comparación de los promedios. Esto para poder seleccionar las concentraciones que tienen un impacto significativo en la germinación. Además, también se estudió la correlación de Pearson entre los parámetros en las diversas concentraciones de cadmio.

Resultados y discusión

Los resultados del estudio se resumen en la Cuadro 1 que contiene los medios obtenidos, a partir de los parámetros estudiados bajo el efecto combinado de la variedad estudiada y la concentración de cadmio y esto al calcular la tasa de germinación, la longitud de los coleoptiles y las raíces, peso de los coleoptiles y las raíces, fitotoxicidad de los coleoptiles y las raíces y el índice de tolerancia, que se ilustran en los gráficos (Figuras 1-8).

Cuadro 1. Medias de la tasa de germinación, longitud del tallo y raíces, peso seco del tallo y raíces, índice de tolerancia y fitotoxicidad de los coleóptiles y raíces bajo el efecto combinado de la variedad-concentración estudiada Cd de las variedades.

Variedades	Cd dosis (mg L ⁻¹)	GR (%)	SL (cm)	RL (cm)	SDW (g)	RDW (g)	TI	Fito.S (%)	Fito.R (%)
Anza	Témoin	100 ^a	11.093 ^a	11.773 ^b	0.042 ^a	0.038 ^a	100 ^a	2.176E-14 ^e	1.776E-15 ^f
	50	100 ^a	7.333 ^b	6.287 ^c	0.03 ^b	0.023	53.417 ^{bc}	33.867 ^d	46.573 ^d
	100	100 ^a	3.873 ^c	2.4 ^f	0.025 ^c	0.023 ^c	20.353 ^{de}	65.073 ^b	79.637 ^b
	150	93.33 ^{ab}	3.373	2.26 ^f	0.023 ^c	0.021 ^c	19.24 ^{de}	69.587 ^b	80.75 ^b
	200	83.33 ^b	2.267 ^d	1.68 ^j	0.019 ^d	0.02 ^{cd}	14.287 ^e	79.57 ^a	85.703 ^{ab}
Hiddab	Témoin	95 ^a	12.447 ^a	13.327 ^a	0.05 ^a	0.032 ^b	100 ^a	1.421E-14 ^e	1.421E-14 ^f
	50	93.33 ^a	8.68 ^{ab}	7.88 ^{bc}	0.036 ^{ab}	0.028 ^b	59.13 ^b	30.233 ^d	40.86 ^e
	100	81.66 ^b	5.453 ^c	4.173 ^d	0.029 ^b	0.023 ^c	31.313 ^c	56.12 ^c	68.677 ^c
	150	80 ^b	3.487 ^c	3.407 ^e	0.021 ^{bc}	0.021 ^c	25.613 ^d	71.973 ^b	74.377 ^{bc}
	200	70 ^c	2.707 ^d	1.25 ^j	0.015 ^d	0.015 ^d	9.383 ^f	78.247 ^a	90.607 ^a

Fecha de germinación

De acuerdo con la prueba de Anova que revela una diferencia significativa de la interacción variedad-concentración, observamos una diferencia significativa ($p < 0.01$) entre las variedades estudiadas Anza e Hiddab para las concentraciones 100, 150 y 200 mg que inhiben la germinación de la variedad Hiddab en comparación con la variedad Anza (Figura 1).

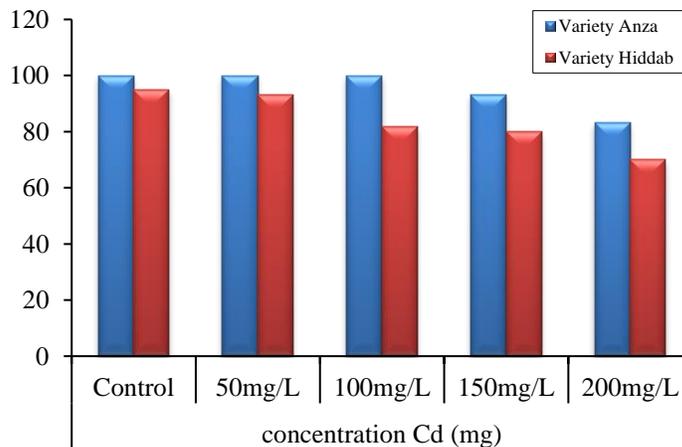


Figura 1. Promedios de tasa de germinación por efecto combinado de variedad-concentración de Cd.

Longitud del tallo y raíces

De acuerdo con el análisis estadístico, la longitud del tallo fue significativamente influenciada (p 0.001) por las concentraciones crecientes de cadmio de las cuales varía entre 12.44 y 11.09 cm para las variedades Hiddab y Anza respectivamente para el control 2.7 y 2.26 cm para las variedades Hiddab y Anza esto para el tratamiento de 200 mg (Figura 2) con una tasa de reducción de 77.29%. El mismo efecto del cadmio en la longitud de las raíces, sus medias varían entre 11.71-13.32 cm para Anza e Hiddab para el control y 1.25-1.68 cm para las variedades Hiddab y Anza con una concentración de 200 mg de cadmio (Figura 2) con una tasa de inhibición de 86.67%.

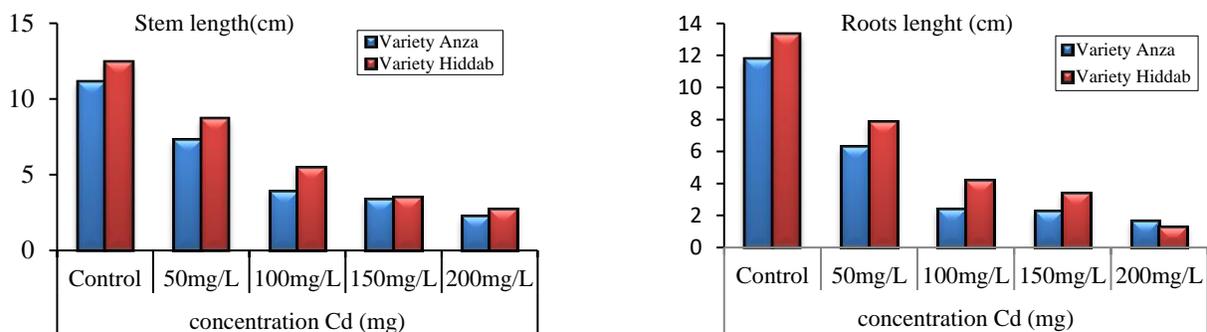


Figura 2. El efecto combinado variedad-concentración Cd en la longitud del tallo y las raíces. Las plántulas viejas de 7 días fueron expuestas a varias concentraciones de CdCl₂. Las tomas se hicieron plántulas por plántulas. Los valores son promedios de 10 repeticiones. Las barras de error corresponden a los errores estándar.

Peso seco del tallo y raíces

El efecto de la variedad de interacción x concentración revela un efecto altamente significativo (p 0.001) sobre el peso seco del tallo, de los cuales registra una reducción del peso seco de 56.93% (Figura 3). En cuanto a las raíces, están influenciadas y se registró un peso bajo para Hiddab con un valor de 0.015 g por debajo de la concentración de 200 mg en comparación con el peso más alto obtenido por Anza 0.038 g con el control, con una tasa de reducción de 48.11% de reducción (Figura 3).

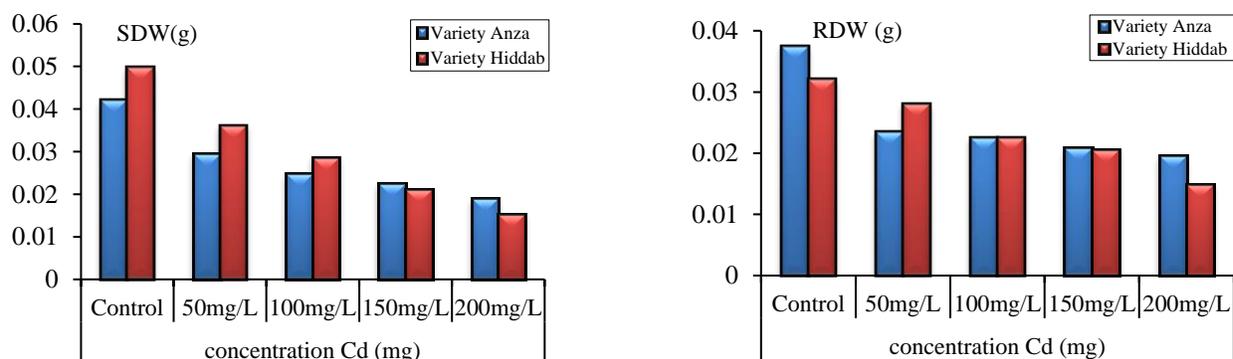


Figura 3. Efecto de la interacción variedad-concentración Cd sobre el peso seco del tallo (SDW) y el peso seco de las raíces (RDW). Las plántulas viejas de 7 días fueron expuestas a varias concentraciones de CdCl₂. Las tomas se hicieron plántulas por plántulas. Los valores son promedios de 10 repeticiones. Las barras de error corresponden a los errores estándar.

Fitotoxicidad del tallo

De acuerdo con los medios obtenidos del efecto de la interacción variedad-concentración Cd en este parámetro, que varió proporcionalmente con las concentraciones utilizadas para ambas variedades (Figura 4) 79.57 y 78.24% para las variedades Anza e Hiddab respectivamente con una concentración de 200 mg (Cuadro 1).

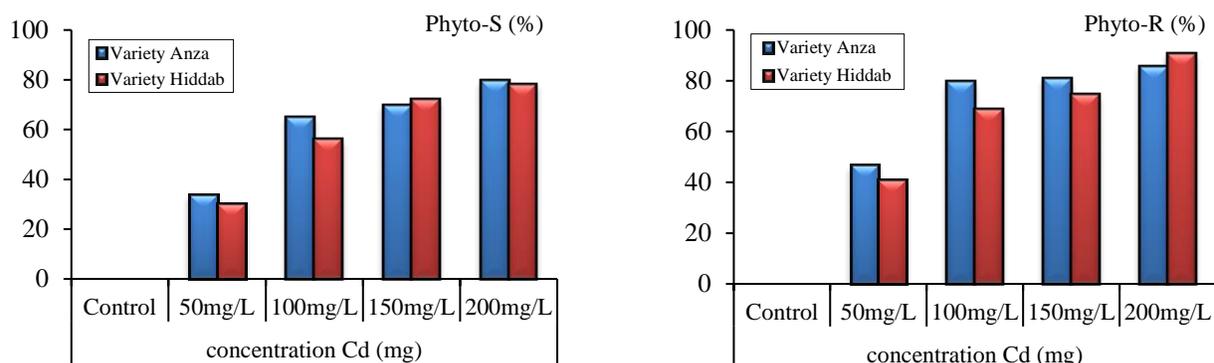


Figura 4. El efecto combinado de la variedad-concentración de Cd en la fitotoxicidad del tallo y las raíces. Las plántulas viejas de 7 días fueron expuestas a varias concentraciones de CdCl₂. Las tomas se hicieron plántulas por plántulas. Los valores son promedios de 10 repeticiones. Las barras de error corresponden a los errores estándar.

Fitotoxicidad de las raíces

Aumenta de acuerdo con el aumento de las concentraciones de cadmio para Anza e Hiddab con un aumento promedio de 86.65% (Figura 5).

Índice de tolerancia

El efecto de la interacción variedad-concentración revela un efecto significativo, es inversamente proporcional a la concentración Cd (Cuadro 1, Figura 5) el índice de tolerancia disminuye según el aumento de la concentración Cd en ambas variedades. La variedad Hiddab es la menos tolerante.

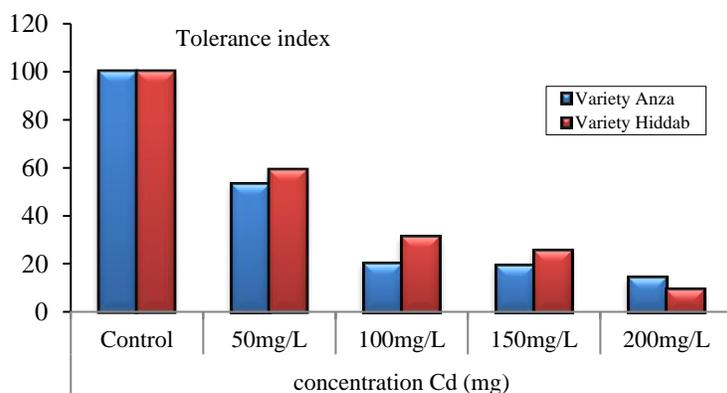


Figura 5. Índice de tolerancia bajo el efecto combinado variedad-concentración Cd. Las plántulas viejas de 7 días fueron expuestas a varias concentraciones de CdCl₂. Las tomas se hicieron por plántulas. Son valores promedios de 10 repeticiones. Las barras corresponden al error estándar.

Para completar el análisis estadístico, se agrega una prueba de correlación para mostrar la dependencia entre los diversos parámetros analizados (Cuadro 2), ya sea positivo o negativo en otras palabras, proporcional o inversamente proporcional.

Cuadro 2. La prueba de correlación de Pearson de los diversos parámetros estudiados.

		GR	SL	RL	SDW	RDW	TI	Fito.S	Fitoto.R
GR	Correlación de Pearson	1	0.62**	0.547**	0.638**	0.599**	0.585**	-0.65**	-0.586**
	Sig. (bilateral)		0	0	0	0	0	0	0
	N	60	60	60	60	60	60	60	60
LS	Correlación de Pearson	0.62**	1	0.947**	0.959**	0.84**	0.944**	-0.994**	-0.44**
	Sig. (bilateral)	0		0	0	0	0	0	0
	N	60	60	60	60	60	60	60	60
RL	Correlación de Pearson	0.547**	0.947**	1	0.905**	0.929**	0.982**	-0.952**	-0.982**
	Sig. (bilateral)	0	0		0	0	0	0	0
	N	60	60	60	60	60	60	60	60
SDW	Correlación de Pearson	0.638**	0.959**	0.905**	1	0.823**	0.913**	-0.952**	-0.913**
	Sig. (bilateral)	0	0	0		0	0	0	0
	N	60	60	60	60	60	60	60	60
RDW	Correlación de Pearson	0.599**	0.84**	0.929**	0.823**	1	0.942**	-0.867**	-0.942**
	Sig. (bilateral)	0	0	0	0		0	0	0
	N	60	60	60	60	60	60	60	60
TI	Correlación de Pearson	0.585**	0.944**	0.982**	0.913**	0.942**	1	-0.955**	-1**
	Sig. (bilateral)	0	0	0	0	0		0	0
	N	60	60	60	60	60	60	60	60
Fito.S	Correlación de Pearson	-0.65**	-0.994**	-0.952**	-0.952**	-0.867**	-0.955**	1	0.955**
	Sig. (bilateral)	0	0	0	0	0	0		0
	N	60	60	60	60	60	60	60	60
Fito.R	Correlación de Pearson	-0.586**	-0.944**	-0.982**	-0.913**	-0.942**	-1**	0.955**	1
	Sig. (bilateral)	0	0	0	0	0	0	0	
	N	60	60	60	60	60	60	60	60

**= La correlación es significativa a 0.01 (bilateral).

El cadmio está clasificado como agente carcinógeno y genotóxico del grupo 1 por 'la agencia internacional para la investigación del cáncer' o IARC, por lo que es un metal no esencial y muy peligroso para los organismos de las alas (Daud *et al.*, 2008) 7. La germinación o la embriogénesis tardía, es la primera etapa del desarrollo de una planta. Durante la germinación, el embrión aumenta de volumen por el uso de la energía resultante de la oxidación de las reservas

bajo la influencia de la acción de las diversas enzimas hidrolásicas, que borran gradualmente las envolturas que lo rodean y la salida de los coleoptiles y las raíces. En quien la semilla regresa a la vida activa después de un período de latencia (Meyer *et al.*, 2004).

En esta fase, la semilla necesita condiciones externas e internas favorables para un desarrollo normal. Varios estudios mostraron el impacto negativo y la toxicidad de los metales pesados en el proceso de siembra y el crecimiento de las plántulas (Ahsan *et al.*, 2007; Datta *et al.*, 2011).

Los resultados indican que el cadmio ejerce un efecto negativo en todos los parámetros germinativos (Rahul *et al.*, 2008). Es importante mencionar, que la tasa de germinación está significativamente influenciada por el aumento de la concentración de Cd. Peso seco de coleoptiles y raíces, longitud de raíces y tallo (Ahmad *et al.*, 2012). Se notó una reducción importante en la longitud de las raíces en comparación con los otros parámetros.

La sensibilidad de las raíces se debe a su localización en el primer punto de contacto con el medio externo cargado con cadmio (Yang *et al.*, 1998; Amirjani *et al.*, 2012).

En cuanto a la fitotoxicidad del cadmio se refiere a ambas variedades estudiadas; las medias son variables de uno a otro. El índice de tolerancia para ambas variedades en las diversas concentraciones de cadmio muestra que la variedad Hiddab es más tolerante que la variedad Anza. La resistencia para el cadmio se alcanza con la producción de antioxidantes que desintoxica a las especies libres de oxígeno (Hartley-Whitaker *et al.*, 2001; Liu and Zhang, 2007).

La prueba de correlación de Pearson entre los diversos parámetros estudiados (Cuadro 2), revela una correlación proporcional significativa entre la tasa de germinación (RG), la longitud de las raíces (LR), la longitud del tallo (LS), el peso seco de las raíces y el vástago (DWR y DWS). Si bien la correlación con la fitotoxicidad en la que consideramos las raicillas o el tallo es inversamente proporcional, confirma el efecto inhibitorio ejercido por el cadmio en los parámetros de germinación (Lin *et al.*, 2010).

Conclusión

Basados en los resultados, el cadmio muestra por un lado, un efecto inhibitorio sobre los parámetros de germinación y por otro lado, las variedades se comportan de manera diferente, existen variedades tolerantes y otras sensibles. Esto nos lleva a la obligación de elección estratégica de las variedades, especialmente en los suelos afectados por el cadmio y otros metales.

Literatura citada

- Ahmad, I.; Akhtar, M. J.; Zahir, Z. A. and Jamil, A. 2012. Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Pak. L. Bot. 44:1569-1574.
- Ahsan, N.; Lee, D. G.; Lee, S. H.; Kang, K. Y.; Lee, J. J.; Kim, P. J.; Yoon, H. S.; Kim, J. S. and Lee, B. H. 2007. Excess copper induced physiological and proteomic changes in germinating rice seeds. Chemosphere. 67:1182-1193.

- Amirjani, M. R. 2012. Effects of cadmium on wheat growth and some physiological factors. *Int. J. Forest, Soil and Erosion*. 2(1):50-58.
- Baize, D. and Sterckeman, T. 2001. Of the necessity of knowledge of the natural pedogeochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. *Sci. Tot. Environ.* 264:127-139.
- Chaignon, V. 2001. Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées. Cas de sols viticoles contaminés par des fongicides. Thèse de Doctorat. Université d'Aix-Marseille.
- DalCorso, G.; Manara, A. and Furini, A. 2013: An over view of heavy metal challenge in plants: from roots to shoots, *Metallomics*. 5:1117-1132.
- Datta, J. K.; Bandhyopadhyay, A.; Banerjee, A. and Mondal, N. K. 2011. Phytotoxic effect of chromium on the germination, seedling growth of some wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under laboratory condition. *J. Agric. Technol.* 7(2):395-402.
- Daud, M. K.; Suna, Y.; Dawooda, M.; Hayat, Y.; Variatha, M. T.; Wua, Y.-X.; Raziuddina, Mishkat, U.; Salahuddine, N. U. and Zhua, S. 2008. Cadmium-induced functional and ultrastructural alterations in roots of two transgenic cotton cultivars. *J. Hazardous Materials*. 161:463-473.
- Godt, J.; Scheidig, F.; Grosse-Siestrup, C.; Esche, V.; Brandenburg, P.; Reich, A. and Groneberg, D. 2006. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *J. Occup. Med. Toxicol.* 1:22-27.
- Hartley-Whitaker, J.; Ainsworth, G. and Meharg, A. A. 2001. Copper and As induced oxidative stress in *Holcus lanatus* L. clones with different sensitivity. *Plant Cell Environ.* 24:713-722.
- Iqbal, M. Z. and Rahmati, K. 1992. Tolerance of *Albizia lebeck* to Cu and Fe application, *Ekologia (CSFR)*. 11:427-430.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Lin, J.; Wuyi, W.; Younghra, L. and Linsheng, Y. 2010. Heavy metals in soil and crops of an intensively formed area. A case study in Yucheng city, Shandong Province, China. *Inter. J. Plant Environ. Res. Public Health*. 7:395-412.
- Liu, X. L. and Zhang, S. Z. 2007. Intraspecific differences in effects of co-contamination of cadmium and arsenate on early seedling growth and metal uptake by wheat. *J. Environ. Sci.* 19:1221-1227.
- Meyer, S. ; Reed, C. and Bosdeveix, R. 2004- botanique (biologie et physiologie végétales). (Ed.). Maloine. 56-461 pp.
- Rahul, S.; Chaoui, A. and El-Ferjani, E. 2008. Differential sensitivity to cadmium in germinating seeds of three cultivars of faba bean (*Vicia faba* L.). *Acta Physiol. Plantarum*. 30:451-456.
- Rengel Z, 1999. Heavy metals as essential nutrients. *In: Prasad, M. N. V. and Hagemeyer, J. (Ed.). Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems.* Springer, Berlin. 231-252 pp.
- Soltani, A. and Gholipoor, M. and Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environ. Exp. Bot.* 45:195-200.
- Verbruggen, N.; Hermans, C. and Schat, H. 2009. Mechanisms to cope with arsenic or cadmium excess in plants. *Current Opinion Plant Biol.* 12:364-372.
- Yang, M. G.; Lin, X. Y. and Yang, X. E. 1998. Impact of Cd on growth and nutrient accumulation of different plant species. *Chinese J. Appl. Ecol.* 19:89-94.