

## Efectos de la toxicidad de cadmio en la morfología de plantas de *Bidens pilosa* L

### Effects of cadmium toxicity on the morphology of *Bidens pilosa* L

### Efeitos da toxicidade do cádmio na morfologia de *Bidens pilosa* L

Nuri Carito Vilca Valqui<sup>1</sup> , Manuel Oliva<sup>2</sup> , Nilton B. Rojas Briceño<sup>2</sup> 

#### RESUMEN

El cadmio es un metal que afectan los recursos naturales, plantas y seres humanos. Ante ello, se ha buscado diferentes métodos para mitigar el problema, uno de ellos es la fitorremediación que hace uso de especies que tienen el potencial de acumular el metal pesado en sus tejidos vegetales. Esta investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto que causa la toxicidad de cadmio en la morfología de plantas de cadillo (*Bidens pilosa* L.). Las plantas fueron sembradas en dos tipos de sustrato con pH 6.27 y 5.53, agregando diferentes concentraciones de cloruro de cadmio ( $\text{CdCl}_2$ ) (0, 5 y 10 ppm) dentro de un invernadero; donde se tuvo 6 tratamientos con 5 repeticiones, teniendo así 30 unidades experimentales. Se evaluó parámetros morfológicos y concentraciones de Cd en la parte radicular y foliar. De los resultados obtenidos, el cadillo sembrado en el sustrato con pH 5.53 sin  $\text{CdCl}_2$  tuvo mayor altura con 27.18 cm, con el mismo sustrato más 10 ppm de  $\text{CdCl}_2$  se obtuvo mayores valores en las variables; número de brotes (16 brotes), peso fresco foliar (26.70 g), peso seco foliar (10.92 g), peso fresco radicular (5.77 g), peso seco radicular (1.04 g) y longitud de raíz (26.90 mm). Respecto a la acumulación de Cd en los tejidos vegetales se obtuvo mayor concentración en la parte foliar (7.27 ppm) y menos en la raíz (2.57 ppm). Se concluye, que esta especie podría tener utilidad en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd.

**Palabras claves:** Fitorremediación, acumulación, especie herbácea, foliar, radicular.

#### ABSTRACT

Cadmium is a metal that affects natural resources, plants and human beings. Therefore, different methods have been sought to mitigate the problem, one of them is phytoremediation that makes use of species that have the potential to accumulate the heavy metal in their plant tissues. The objective of this research was to evaluate the effect of cadmium toxicity on the morphology of cadmium cadmium plants (*Bidens pilosa* L.). The plants were planted in two types of substrate with pH 6.27 and 5.53, adding different concentrations of cadmium chloride ( $\text{CdCl}_2$ ) (0, 5 and 10 ppm) inside a greenhouse; where there were 6 treatments with 5 replicates, thus having 30 experimental units. Morphological parameters and Cd concentrations in the root and foliar parts were evaluated. From the results obtained, the cadillo planted in the substrate with pH 5.53 without  $\text{CdCl}_2$  had greater height with 27.18 cm, with the same substrate plus 10 ppm of  $\text{CdCl}_2$  higher values were obtained in the variables; number of shoots (16 shoots), foliar fresh weight (26.70 g), foliar dry weight (10.92 g), root fresh weight (5.77 g), root dry weight (1.04 g) and root length (26.90 mm). Regarding the accumulation of Cd in plant tissues, a higher concentration was obtained in the foliar part (7.27 ppm) and less in the root (2.57 ppm). It is concluded that this species could be useful in the phytoremediation of Cd-contaminated soils.

**Keywords:** Phytoremediation, accumulation, herbaceous species, foliar, root.

DOI: <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v3i2.100>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Estación Experimental Agraria Amazonas (EEA-Amazonas), Perú; Email: [nuricarito.02@gmail.com](mailto:nuricarito.02@gmail.com).

<sup>2</sup> Instituto de Investigación para el Desarrollo Sostenible de Ceja de Selva (INDES-CES), Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A), Perú. Email: [soliva@indes-ces.edu.pe](mailto:soliva@indes-ces.edu.pe), [nrojas@indes-ces.edu.pe](mailto:nrojas@indes-ces.edu.pe)

## RESUMO

O cádmio é um metal que afeta os recursos naturais, as plantas e o homem. Portanto, diferentes métodos foram procurados para mitigar o problema, um deles é a fitorremediação, que faz uso de espécies que têm o potencial de acumular o metal pesado em seus tecidos vegetais. O objetivo desta pesquisa era avaliar o efeito da toxicidade do cádmio sobre a morfologia das plantas de cádmio cádmio (*Bindes pilosa* L.). As plantas foram plantadas em dois tipos de substrato com pH 6,27 e 5,53, adicionando diferentes concentrações de cloreto de cádmio ( $\text{CdCl}_2$ ) (0, 5 e 10 ppm) dentro de uma estufa; onde houve 6 tratamentos com 5 réplicas, tendo assim 30 unidades experimentais. Os parâmetros morfológicos e as concentrações de Cd na raiz e nas partes foliares foram avaliados. A partir dos resultados obtidos, o cadillo plantado no substrato com pH 5,53 sem  $\text{CdCl}_2$  teve maior altura com 27,18 cm, com o mesmo substrato mais 10 ppm de  $\text{CdCl}_2$  foram obtidos maiores valores nas variáveis; número de brotos (16 brotos), peso foliar fresco (26,70 g), peso foliar seco (10,92 g), peso foliar fresco (5,77 g), peso foliar seco (1,04 g) e comprimento da raiz (26,90 mm). Com relação ao acúmulo de Cd nos tecidos vegetais, a maior concentração foi obtida na parte foliar (7,27 ppm) e menos na raiz (2,57 ppm). Conclui-se que esta espécie poderia ser útil na fitorremediação de solos contaminados por Cd.

**Palavras-chave:** Fitorremediação, acumulação, espécies herbáceas, foliar, raiz.

## INTRODUCCIÓN

El cadmio (Cd) es considerado como el metal con mayor peligro para el ambiente (Ismael et al., 2019) ya que se encuentra abundantemente distribuido (Kubier et al., 2019); se libera al ambiente a través de actividades antropogénicas (Rizwan et al., 2018).

Las concentraciones altas, provocan efectos dañinos en el ecosistema (Rodríguez et al., 2019); En los seres humanos estos efectos son causados por la ingestión de alimentos y agua contaminadas (Genchi et al., 2020); en el suelo, el Cd se almacena y se transfiere a la cadena alimentaria a través de las plantas (Adrees et al., 2015). Las plantas absorben fácilmente los iones de Cd en hojas, frutos y semillas comestibles a través de sus raíces (Shaari et al., 2022); lo que causa en las plantas también es la inhibición de varios procesos fisiológicos, incluida la germinación y el crecimiento, la fotosíntesis y la antioxidación (Zhu et al., 2020), reduciendo así la productividad (Mahajan & Kaushal, 2018).

En ese contexto, existe una necesidad urgente de encontrar una manera eficaz de mitigar los riesgos de Cd. (Zhi et al., 2020). Una de ella es la fitorremediación, hace el uso de plantas para tratar y controlar los desechos en los recursos naturales (McCutcheon y Jorgensen, 2008); es una alternativa económica y eficiente para reducir la contaminación ambiental de manera sostenible (Riaz et al., 2022); hay diversidad de plantas que tienen esta capacidad, una de ellas son las especies herbáceas, ya que son de crecimiento rápido, producen una gran biomasa y además son fáciles de propagar (Matanzas et al., 2021); teniendo así a la *Bidens pilosa* L. que es una especie hiperacumuladora de Cd ampliamente distribuida en el mundo con gran biomasa y rápida tasa de crecimiento (Dai et al., 2021).

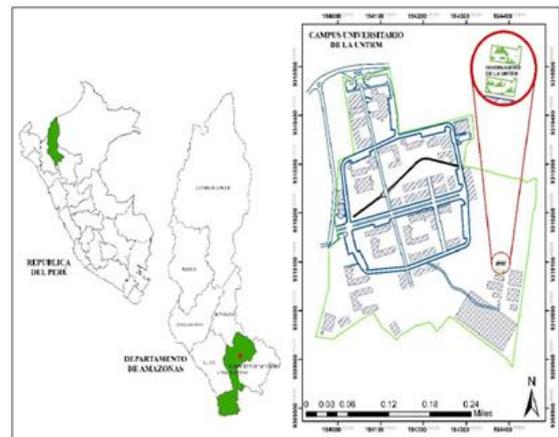
Por lo expuesto, esta investigación tuvo por objetivo

evaluar el efecto de la toxicidad de cadmio en la morfología y fisiológica de plantas de *Bidens pilosa* L.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en el invernadero de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, en la región Amazonas (NW Perú) (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio, invernadero de la UNTRM

### Diseño de la investigación

La investigación es de carácter experimental, un diseño factorial; teniendo como factores el tipo de sustrato (2A) y las concentraciones de cadmio (3B). Por tanto, se tuvo 6 tratamientos con 5 repeticiones por tratamientos y 30 unidades experimentales.

### Instalación del experimento

Para la instalación del experimento se empleó macetas de tres kilos, donde se inició con el riego utilizando CdCl<sub>2</sub> en una relación de 1:1. Luego, se realizó la aplicación de 5 y 10 ppm de Cd por maceta, de acuerdo a los tratamientos. Se dejó en reposo por 15 días, removiendo constantemente el suelo, para luego realizar la siembra de la especie.

## Evaluaciones

Para las evaluaciones se realizó cada 8 días por dos meses, donde se evaluó Altura de la planta y área foliar: Estas variables morfológicas se midieron con un vernier digital y el diámetro del tallo se midió 5 cm por encima de la superficie del suelo. La longitud de raíz, número de raíces, peso fresco foliar, peso seco foliar, peso fresco de raíz y peso seco de raíz (se evaluó utilizando el vernier digital y una balanza analítica).

## Análisis de laboratorio

En el laboratorio de investigación de Aguas y Suelos de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza se realizó la caracterización físico química de los dos sustratos (Tabla 1) y el Cd disponible en el suelo fue determinado con la metodología EPA 3050).

**Tabla 1.** Caracterización de los dos sustratos.

	<b>S1 (1 arena: 1 turba: 1 tierra agrícola)</b>	<b>S2 (1/2 arena: 1 turba: 1 tierra agrícola)</b>
pH	6.27	5.53
CE	0.23	0.31

Para el análisis de Cd de las muestras de las partes vegetales se empleó el método de Vía Seca. Para lo cual, las muestras se secaron, se picaron y se pesó 2 gr que se colocó en un crisol, seguidamente se procedió a quemar la muestra en una estufa a 450°C a por 5 horas. Las muestras calcinadas se humedecieron con agua destilada, luego se agregó 2ml de Ácido Clorhídrico concentrado, se evaporó el contenido lentamente hasta su sequedad, se agregó nuevamente 2ml de agua destilada y 2ml de Ácido Clorhídrico concentrado, se calentó suavemente hasta que se disuelva la muestra, el contenido se

transfirió a una fiola de 50 ml y se dejó filtrar. Por último, el contenido se llevó a leer en el espectrofotómetro de emisión atómica (Agilent Technologies, 4100 MP-AES, EE. UU).

## Análisis de datos

Los datos se analizaron con el software estadístico InfoStat versión 2018. Se identificaron las medias y la desviación estándar de todos los datos. Se realizó un análisis ANOVA, luego se procedió a realizar la prueba Tukey para ver la diferencia entre factores. Además, se realizó una correlacionaron Pearson's, para ver la significancia y la correlación entre las variables estudiadas.

## RESULTADOS

En la Tabla 2, se observa que, en todas las variables evaluadas, en las interacciones de los factores, existe diferencia estadística significativa. En la altura el sustrato (S2) con pH 5.53, sin la presencia de Cd, registro la mayor altura con 27.18 cm; el mismo sustrato con 10 ppm de CdCl<sub>2</sub> registro mayor promedio de número de brotes con 16.00, del mismo modo en peso fresco y seco foliar con 26.70 g y 10.92 g respectivamente.

En parte radicular el sustrato S2 con 10 ppm de CdCl<sub>2</sub> registro mayor resultado, teniendo así que en peso fresco radicular tuvo 5.77 g, en peso seco radicular 1.04 g y en longitud de raíz 26.90 mm.

Respecto a la concentración y acumulación de cadmio en la parte foliar de la especie, el sustrato S1 con pH 6.27 y con 10 ppm de CdCl<sub>2</sub> registró el mayor promedio con 7.27 ppm y del mismo modo en la parte radicular con 2.57 ppm.

**Tabla 2.** Efecto del sustrato y las concentraciones de Cd sobre las variables morfológicas de la parte foliar y radicular de la *Bidens pilosa* L.

	Altura (cm)	N° de brotes	Peso fresco foliar (g)	Peso seco foliar (g)
<b>Sustrato (S)</b>				
1 arena: 1 turba: 1 tierra agrícola (S1)	20.99±3.06 b	13.53±2.26	17.93±4.54	6.19±1.59
1/2 arena: 1 turba: 1 tierra agrícola (S2)	26.81±3.06 a	12.90±2.97	20.20±8.79	8.05±1.08
<b>Concentraciones de Cd (C)</b>				
0 ppm (C1)	22.93±5.38	12.05±2.08 b	15.05±6.25 b	3.10±1.27 b
5 ppm (C2)	23.47±3.98	12.10±1.91 b	19.45±6.73 ab	7.85±2.02 a
10 ppm (C3)	25.30±3.03	15.40±2.46 a	22.70±6.73 a	10.41±3.47 a
<b>Interacción (S*C)</b>				
S1*C1	18.68±1.75 b	12.80±1.79 ab	18.30±3.17 ab	3.28±0.93 b
S1*C2	20.30±1.81 b	13.00±1.58 ab	16.80±6.27 ab	5.40±1.01 ab
S1*C3	23.98±2.82 ab	14.80±3.03 ab	18.70±4.51 ab	9.90±3.52 a
S2*C1	27.18±4.11 a	11.50±2.35 b	11.80±3.16 b	2.92±0.61 b
S2*C2	26.64±2.70 a	11.20±1.92 b	22.10±5.66 ab	10.30±3.85 a
S2*C3	26.62±2.90 a	16.00±1.87 a	26.70±6.45 a	10.92±2.50 a
	<b>Peso fresco radicular (g)</b>	<b>Peso seco radicular (g)</b>	<b>Longitud de raíz (mm)</b>	
<b>Sustrato (S)</b>				
1 arena: 1 turba: 1 tierra agrícola (S1)	3.54±0.92 b	0.64±0.22 b	23.92±2.22	
1/2 arena: 1 turba: 1 tierra agrícola (S2)	4.57±1.17 a	0.84±0.37 a	26.91±3.58	
<b>Concentraciones de Cd (C)</b>				
0 ppm (C1)	3.30±1.22 b	0.53±0.26 b	21.99±7.51	
5 ppm (C2)	4.24±1.57 ab	0.75±0.34 ab	27.51±9.96	
10 ppm (C3)	4.61±1.44 a	0.95±0.20 a	26.75±5.26	
<b>S*C</b>				
S1*C1	4.01±0.85 abc	0.59±0.17 bc	25.94±8.62 ab	
S1*C2	3.15±0.78 c	0.50±0.15 c	19.22±3.32 b	
S1*C3	3.46±0.59 bc	0.85±0.19 abc	26.60±7.44 ab	
S2*C1	2.60±1.17 c	0.47±0.34 c	18.04±3.67 b	
S2*C2	5.33±1.08 ab	1.04±0.17 a	35.80±6.35 a	
S2*C3	5.77±0.99 a	1.01±0.28 ab	26.90±2.63 ab	

Medias con letras diferentes dentro de cada columna y factor de análisis difieren significativamente a la prueba Tukey (p < 0.05)

Tabla 3. Efecto del sustrato y las concentraciones de Cd sobre la acumulación de Cd en la parte foliar y radicular de la *Bidens pilosa* L.

	<b>Cd foliar (ppm)</b>	<b>Cd radicular (ppm)</b>
<b>Sustrato (S)</b>		
1 arena: 1 turba: 1 tierra agrícola (S1)	3.75±1.40 a	1.69±0.63 a
1/2 arena: 1 turba: 1 tierra agrícola (S2)	2.24±0.83 b	0.98±0.2 b
<b>Concentraciones de Cd (C)</b>		
0 ppm (C1)	0.00±0.00 c	0.00±0.00 c
5 ppm (C2)	3.34±1.00 b	1.24±0.54 b
10 ppm (C3)	5.66±1.47 a	2.76±0.92 a
<b>Interacción (S*C)</b>		
S1*C1	0.00±0.00 c	0.00±0.00 c
S1*C2	4.03±0.71b	1.49±0.40 b
S1*C3	7.27±2.62 a	2.57±0.92 a
S2*C1	0.00±0.00 c	0.00±0.00 c
S2*C2	2.66±0.76 b	0.98±0.58 bc
S2*C3	4.06±0.68 b	1.95±0.34 b

Medias con letras diferentes dentro de cada columna y factor de análisis difieren significativamente a la prueba Tukey ( $p < 0.05$ )

## DISCUSIÓN

La fitorremediación es un método eficaz y respetuoso con el medio ambiente para reducir los iones contaminantes presentes en los recursos naturales (El-Mahrouk et al., 2019); el empleo de plantas hiperacumuladoras de metales pesados es una alternativa para la fitorremediación, la respuesta que tienen estas plantas difieren en su aspecto morfológico, los procesos fisiológicos que contribuyen a su capacidad para acumular y desintoxicar Cd (He et al., 2017).

El cadillo registro mayor altura en suelos que no presentaba Cd; estos resultados difieren de Sun et al. (2009), donde indican que cadmio facilita el crecimiento de esta especie. En número de brotes se registró el más alto valor en suelos con presencia de Cd, esto coincide con Muszyńska et al. (2018) donde indica que la aplicación de cadmio en algunas plantas favorece el número de brotes.

Respecto al peso (seco y fresco) foliar y radicular, se observó que tuvieron valores altos en suelos que contenían mayor concentración de Cd; en otras especies herbáceas, se reducen estas variables en niveles alto de Cd (Ying et al., 2010). Respecto a la longitud de la raíz, se observó donde hubo concentraciones de Cd se tuvo mayor longitud; de acuerdo Guoju et al. (2016), las raíces más largas podrían contribuir a una mayor capacidad para transferir Cd de las raíces hacia brotes en las especies herbáceas.

En los dos sustratos utilizados se pudo observar que el pH es importante para acumulación de Cd de la especie teniendo así que, en el sustrato S1 que tenía un pH mayor (6.27) la especie tuvo mayor concentración de Cd en todas sus partes vegetales en comparación con el sustrato S2 (5.53); donde González et al. (2010), indica que pH bajos hay menos absorción Cd por parte de las plantas y pasa

lo contrario con pH altos.

*Bidens pilosa* L. es una especie hiperacumuladora de Cd distribuida en el mundo con gran biomasa y rápido crecimiento (Dai et al., 2021).

## CONCLUSIONES

Respecto a las variables morfológicas en su mayoría presentaron mejores resultados en suelos que contenían cadmio y con el sustrato de pH de 5.53.

Con el sustrato de pH 6.27, las dos especies herbáceas tuvieron mayor acumulación de Cd en la parte radicular y foliar, además de ello los resultados obtenidos en acumulación de Cd en la parte foliar y radicular, indican que *Bidens pilosa* L. es una especie que tiene la capacidad de acumular Cd en sus tejidos vegetales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Zia-ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Qayyum, M. F., & Irshad, M. K. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 119, 186–197. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2015.05.011>
- Dai, H., Wei, S., Pogrzeba, M., Krzyżak, J., Rusinowski, S., & Zhang, Q. (2021). The cadmium accumulation differences of two *Bidens pilosa* L. ecotypes from clean farmlands and the changes of some physiology and biochemistry indices. *Ecotoxicology and environmental safety*, 209. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2020.111847>
- El-Mahrouk, E. S. M., Eisa, E. A. H., Hegazi, M. A., Abdel-Gayed, M. E. S., Dewir, Y. H., El-Mahrouk, M. E., & Naidoo, Y. (2019). Phytoremediation of Cadmium-, Copper-, and Lead-contaminated Soil by *Salix mucronata*

- (Synonym *Salix safsaf*). *HortScience*, 54(7), 1249–1257.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI14018-19>
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11).  
<https://doi.org/10.3390/IJERPH17113782>
- González, C., Thompson, J., Martínez, Y., & Sánchez, N. (2010). Concentración de cadmio en partículas de diferentes tamaños de un suelo de la Cuenca del Lago de Valencia. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 25(2), 73–80.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652010000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652010000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Guoju, X., Fengju, Z., Juying, H., Chengke, L., Jing, W., Fei, M., Yubi, Y., Runyuan, W., & Zhengji, Q. (2016). Response of bean cultures' water use efficiency against climate warming in semiarid regions of China. *Agricultural Water Management*, 173, 84–90.  
<https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2016.05.010>
- He, S., Yang, X., He, Z., & Baligar, V. C. (2017). Morphological and Physiological Responses of Plants to Cadmium Toxicity: A Review. *Pedosphere*, 27(3), 421–438.  
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60339-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60339-4)
- Ismael, M. A., Elyamine, A. M., Moussa, M. G., Cai, M., Zhao, X., & Hu, C. (2019). Cadmium in plants: uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. *Metallomics*, 11(2), 255–277.  
<https://doi.org/10.1039/C8MT00247A>
- Kubier, A., Wilkin, R. T., & Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied Geochemistry*, 108, 104388.  
<https://doi.org/10.1016/J.APGEOCHEM.2019.104388>
- Mahajan, P., & Kaushal, J. (2018). Role of Phytoremediation in Reducing Cadmium Toxicity in Soil and Water. *Journal of Toxicology*, 2018.  
<https://doi.org/10.1155/2018/4864365>
- Muszyńska, E., Hanus-Fajerska, E., & Ciarkowska, K. (2018). Studies on lead and cadmium toxicity in *Dianthus carthusianorum* calamine ecotype cultivated in vitro. *Plant Biology*, 20(3), 474–482. <https://doi.org/10.1111/PLB.12712>
- Rizwan, M., Ali, S., Zia ur Rehman, M., Rinklebe, J., Tsang, D. C. W., Bashir, A., Maqbool, A., Tack, F. M. G., & Ok, Y. S. (2018). Cadmium phytoremediation potential of Brassica crop species: A review. *Science of The Total Environment*, 631–632, 1175–1191.  
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.03.104>
- Rodríguez Albarracín, H. S., Darghan Contreras, A. E., & Henao, M. C. (2019). Spatial regression modeling of soils with high cadmium content in a cocoa producing area of Central Colombia. *Geoderma Regional*.  
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00214>
- Shaari, N. E. M., Tajudin, M. T. F. M., Khandaker, M. M., Majrashi, A., Alenazi, M. M., Abdullahi, U. A., & Mohd, K. S. (2022). Cadmium toxicity symptoms and uptake mechanism in plants: a review. *Brazilian Journal of Biology*, 84(252143), 1–17.  
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.252143>
- Sun, Y., Zhou, Q., Wang, L., & Liu, W. (2009). Cadmium tolerance and accumulation characteristics of *Bidens pilosa* L. as a potential Cd-hyperaccumulator. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2–3), 808–814.  
<https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2008.04>

- Ying, R. R., Qiu, R. L., Tang, Y. T., Hu, P. J., Qiu, H., Chen, H. R., Shi, T. H., & Morel, J. L. (2010). Cadmium tolerance of carbon assimilation enzymes and chloroplast in Zn/Cd hyperaccumulator *Picris divaricata*. *Journal of Plant Physiology*, 167(2), 81–87. <https://doi.org/10.1016/J.JPLPH.2009.07.005>
- Zhi, Y., Zhou, Q., Leng, X., & Zhao, C. (2020). Mechanism of Remediation of Cadmium-Contaminated Soil With Low-Energy Plant Snapdragon. *Frontiers in Chemistry*, 8, 222. <https://doi.org/10.3389/FCHEM.2020.00222>
- Zhu, T., Li, L., Duan, Q., Liu, X., & Chen, M. (2020). Progress in our understanding of plant responses to the stress of heavy metal cadmium. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1836884>, 16(1). <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1836884>