

**Modyfikacja procesu transpiracji
a efektywność indukowanej fitoekstrakcji
ołowiu i kadmu
w wybranych gatunkach roślin**



NR 2842

Eugeniusz Małkowski

**Modyfikacja procesu transpiracji
a efektywność indukowanej fitoekstrakcji
ołowiu i kadmu
w wybranych gatunkach roślin**

Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego



Katowice 2011

Redaktor serii: Biologia
Iwona Szarejko

Recenzenci
Danuta Maria Antosiewicz
Anna Tukiendorf

Publikacja będzie dostępna — po wyczerpaniu nakładu — w wersji internetowej:

Śląska Biblioteka Cyfrowa
www.sbc.org.pl

Spis treści

Podziękowania	7
Wykaz skrótów	9
1. Wstęp	11
1.1. Ołów i kadm w środowisku glebowym	11
1.2. Fizykochemiczne metody oczyszczania gleb z metali	13
1.3. Fitoremediacja jako metoda oczyszczania środowiska	14
1.3.1. Metody fitoremediacji	15
1.3.1.1. Fitodegradacja	15
1.3.1.2. Fitofiltracja	16
1.3.1.3. Fitoulatnianie	18
1.3.1.4. Fitochemostabilizacja	18
1.3.1.5. Fitoekstrakcja	23
1.4. Pobieranie Pb i Cd przez korzenie roślin i ich transport do pędów	38
1.5. Poglądy na rolę transpiracji w indukowanej fitoekstrakcji Pb i Cd	42
1.5.1. Związki modyfikujące natężenie transpiracji oraz rola transpiracji w indukowanej fitoekstrakcji Pb i Cd	44
2. Cel badań	49
3. Materiał i metody	51
3.1. Doświadczenia w kulturach hydroponicznych i doświadczenia wazonowe	51
3.1.1. Materiał roślinny	51
3.1.2. Doświadczenia w kulturach hydroponicznych	52
3.1.2.1. Uprawa roślin	53
3.1.2.2. Traktowanie roślin fuzikokcyną (FC) i KCl oraz pomiar transpiracji	54
3.1.3. Doświadczenia wazonowe	57
3.1.3.1. Przygotowanie gleby oraz uprawa roślin	57
3.1.3.2. Traktowanie roślin fuzikokcyną (FC), kwasem abscysynowym (ABA), KCl i glifosatem (Glif)	58
3.1.3.3. Pomiar transpiracji	60
3.2. Badania na poziomie tkankowym	61

3.2.1.	Uprawa siewek kukurydzy i przygotowanie segmentów koleoptyli . . .	62
3.2.2.	Inkubacja segmentów	62
3.3.	Metody analityczne	64
4.	Wyniki	66
4.1.	Wpływ FC i KCl na transpirację oraz zawartość Pb, Cd, K, Ca i Zn w pędach gorczycy sarepskiej — badania w kulturach hydroponicznych .	66
4.1.1.	Transpiracja gorczycy sarepskiej uprawianej w pożywce podstawowej lub w pożywce EDTA/Pb/Cd/Zn	67
4.1.1.1.	Dynamika zmian transpiracji	67
4.1.1.2.	Całkowita ilość wytranspirowanej wody w czasie trwania eksperymentu (w ciągu 49 godzin)	73
4.1.2.	Akumulacja Pb i Cd w pędach gorczycy sarepskiej uprawianej w po- żywce EDTA/Pb/Cd/Zn	76
4.1.3.	Akumulacja K, Ca i Zn w pędach gorczycy sarepskiej uprawianej w po- żywce podstawowej lub w pożywce EDTA/Pb/Cd/Zn	79
4.1.4.	Zależność między zawartością Pb, Cd, K, Ca i Zn w pędach gorczycy sarepskiej a transpiracją	82
4.2.	Wpływ FC, KCl, ABA, glifosatu i EDTA na transpirację oraz akumu- lację Pb i Cd w pędach gorczycy sarepskiej i słonecznika — badania w kulturach wazonowych	86
4.2.1.	Wpływ FC, KCl, ABA i EDTA na transpirację	87
4.2.1.1.	Dynamika zmian transpiracji	87
4.2.1.2.	Całkowita ilość wytranspirowanej wody	91
4.2.2.	Wpływ FC, KCl, ABA, EDTA i glifosatu (Glif) na akumulację Pb i Cd .	94
4.3.	Wpływ Pb, EDTA i glifosatu na akumulację Pb, Ca i K w segmentach koleoptyli kukurydzy — badania na poziomie tkankowym	98
5.	Dyskusja	102
5.1.	Zależność między transpiracją a akumulacją Pb i Cd w pędach roślin z indukowaną hyperakumulacją metali	103
5.2.	Problemy związane ze stosowaniem fitoekstrakcji w warunkach polo- wych	116
5.2.1.	Możliwość ługowania metali w glebie przez nadmiar związków chela- tujących	116
5.2.2.	Zagospodarowanie zanieczyszczonego plonu po procesie fitoekstrakcji .	118
6.	Wnioski	121
	Literatura	123
	Summary	153
	Zusammenfassung	155

Podziękowania

Pragnę podziękować wszystkim pracownikom Katedry Fizjologii Roślin Uniwersytetu Śląskiego, którzy w jakikolwiek sposób przyczynili się do powstania niniejszej monografii.

Serdecznie dziękuję Pani dr Aleksandrze Sas-Nowosielskiej z Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych (IETU) za włączenie mnie do Zespołu Fitoremediacji IETU, dzięki czemu mogłem prowadzić badania nad fitoremediacją w ramach międzynarodowych projektów. Chcę również gorąco podziękować byłym dyrektorom IETU Pani prof. dr hab. Ewie Marchwińskiej i Panu prof. dr hab. Jackowi Łącznemu za możliwość wykonywania eksperymentów w kulturach hydroponicznych oraz doświadczeń wazonowych w laboratoriach Instytutu. Podziękowania należą się także Pani Beacie Kokoszy-Gnyp i Panu Norbertowi Słaboniowi za techniczną pomoc w trakcie prowadzenia eksperymentów w IETU.

Pani dr Halinie Lekacz jestem wdzięczny za to, że nauczyła mnie, jak należy rzetelnie prowadzić badania naukowe i sporządzać z nich notatki. Dzięki temu radziłem sobie nawet z „powodzią” danych. Panu mgr. Edwardowi Kudelskiemu dziękuję za pomoc w „przegryzaniu się” przez program Statistica oraz cierpliwość w przekonywaniu mnie, że komputer naprawdę ułatwia pracę naukową. W efekcie nie pozostaje mi nic innego, jak tylko „pokochać” to urządzenie oraz ze spokojem zapoznawać się z kolejnymi wersjami różnych programów. Pani dr Joannie Szymanowskiej-Pułce jestem wdzięczny za czas spędzony na wyjaśnianiu mi, że statystyka nie jest taka „straszna”. Mam nadzieję, że nie będą to stracone godziny. Gorące podziękowania należą się także recenzentom wydawniczym mojej rozprawy Paniom prof. dr hab. Annie Tukiendorf oraz dr hab. Marii Antosiewicz, których cenne, chociaż czasem bardzo krytyczne uwagi przyczyniły się do uporządkowania materiału pracy, a w konsekwencji do powstania ostatecznej wersji niniejszej monografii.

Eugeniusz Małkowski

The effect of modification of transpiration process on the efficacy of induced phytoextraction of lead and cadmium in selected plant species

S u m m a r y

The aim of this paper was to determine the relationship between transpiration and the effectiveness of induced phytoextraction of Pb and Cd in Indian mustard (*Brassica juncea*) and sunflower (*Helianthus annuus*) plants.

Fusicoccin (FC) at the concentration of 10^{-6} M and KCl (25—100 mM), which were sprayed on the shoots of Indian mustard, increased considerably transpiration in plants grown in hydroponic culture, both in basal medium and basal medium supplemented with EDTA, Pb and Cd. Although the total amount of transpired water was significantly greater in the treated plants when compared with control, the dynamics of transpiration varied during the experiment and depended on the composition of hydroponic solution.

In Indian mustard plants grown in the basal medium supplemented with EDTA, Pb and Cd and sprayed with FC and KCl on the above ground parts of plants a positive correlation between transpiration and the content of lead and cadmium in the shoots was observed. A significant positive relationship between the translocation of Pb and Cd and their accumulation in shoots was found 20—35 hours after spraying. In the processes of translocation and accumulation the synergistic effect of FC and KCl was observed. The investigation also showed a high positive correlation between the concentration of the KCl sprayed on the above ground parts and the content of Pb and Cd in the shoots of Indian mustard, which does not depend on transpiration.

In Indian mustard and sunflower plants grown in metal contaminated soil supplemented with EDTA no correlation between transpiration and the content of Pb and Cd in the shoots was found. The synergistic effect of FC and KCl on accumulation of Pb and Cd in the above ground parts was also not observed. Pot experiments showed that in induced phytoextraction the content of Pb and Cd is regulated by the level of induction of hyperaccumulation in plants and not by transpiration.

Investigations on induced phytoextraction of Pb and Cd showed that when the transpiration is modified discrepancies between the results obtained in experiments in hy-

droponic cultures and pot experiments can be found. For this reason pot experiments should be the main point of reference in planning field experiments.

The spraying of Indian mustard and sunflower plants with glyphosate and the application of EDTA to the Pb, Cd and Zn contaminated soil resulted in a marked increase in the Pb and Cd content in the shoots and the level of metal accumulation was similar in both investigated plant species. Moreover, it was found that glyphosate significantly increased the membrane permeability and the inductive effect of EDTA. Simultaneous application of EDTA and glyphosate resulted in apoplastic and symplastic transport of PbEDTA and CdEDTA through the endodermis. Transpiration plays a negligible role in this transport. The low membrane permeability caused by the low level of induction of metal hyperaccumulation is mainly connected with apoplastic transport of PbEDTA and CdEDTA. This transport depends on transpiration and can be modified by factors that have an effect on transpiration rate.

Eugeniusz Małkowski

Die Modifikation des Transpirationsprozesses und die Effizienz von der induzierten Phytoextraktion der Blei und des Kadmiums bei ausgewählten Pflanzenarten

Z u s a m m e n f a s s u n g

Das Ziel der Arbeit war, die Wechselbeziehungen zwischen der Transpiration und der Effizienz von der induzierten Phytoextraktion von Blei (Pb) und Kadmium (Cd) beim Braunen Senf und bei der Sonnenblume zu bestimmen.

Fusicoccin (FC) in der Konzentration von 10^{-6} M und Kaliumchlorid (KCl) (25—100 mM), die gleichzeitig zur Bespritzung der Triebe des Braunen Senfs angewandt wurden, haben sowohl im Grundnährboden, wie auch in dem EDTA, Blei und Kadmium enthaltenen Nährboden die Transpiration der hydroponisch angebauten Pflanzen wesentlich erhöht. Obwohl die Gesamtmenge des transpirierten Wassers bei behandelten Pflanzen wesentlich größer als bei Kontrollpflanzen war, war die Dynamik des Anstiegs während des Experimentes unterschiedlich, je nach der Zusammensetzung von der beim Pflanzenanbau angewandten Hydroponik.

Beim Braunen Senf, der auf dem Nährboden mit EDTA, Blei und Kadmium hydroponisch angebaut wird und dessen oberirdische Teile mit 10^{-6} M FC mit KCl bespritzt werden, beobachtete man eine positive Korrelation zwischen der Transpiration und dem Gehalt des Bleis und des Kadmiums in den Trieben. Eine deutliche positive Korrelation zwischen der Translokation von Pb und Cd und deren Akkumulation in den Trieben wurde innerhalb von den ersten 20—35 Stunden nach der Pflanzenbespritzung beobachtet. In den Prozessen wurde synergistische Wirkung von Fusicoccin und Kaliumchlorid festgestellt. Man stellte auch hohe, positive und von der Transpiration unabhängige Korrelation zwischen der Konzentration von dem zur Bespritzung gebrauchten Kaliumchlorid und dem Gehalt des Bleis und des Kadmiums in den Trieben des Braunen Senfs fest.

Bei Senf und Sonnenblume, welche in dem mit Metallen verunreinigten Boden mit dem Zusatz von EDTA angebaut wurden, wurde keine Korrelation zwischen der Transpiration und dem Gehalt von Pb und Cd in den Trieben festgestellt. Es wurde auch keine synergistische Einwirkung von Fusicoccin und Kaliumchlorid auf die Akkumulation von Pb und Cd in oberirdischen Teilen beobachtet. Aus den Erfahrungen in Blumen-

topfkulturen geht hervor, dass bei der in dem Versuchssystem induzierter Phytoextraktion das Akkumulationsniveau von Pb und Cd nicht von der Transpiration, sondern von der Induktion der Hyperakkumulation abhängt.

Die Forschungen über die induzierte Phytoextraktion von Pb und Cd haben gezeigt, dass es bei der Anwendung von den transpirationsmodifizierenden Faktoren eine gewisse Diskrepanz gab zwischen den in hydroponischen Kulturen und den in Blumentopfkulturen gewonnenen Ergebnissen. Der Bezugspunkt für die Anwendung der beschriebenen Experimente in Feldbedingungen sollten also eher die mit der Anwendung von Blumentopfkulturen durchgeführten Laborexperimente sein.

Die Bespritzung der Senf- und Sonnenblumentriebe mit Glyphosat und die Einführung von EDTA in den mit Blei, Kadmium und Zink verunreinigten Boden hatten zur Folge, dass sich der Gehalt von Pb und Cd in den Trieben erheblich vergrößerte, und das Akkumulationsniveau von Metallen war bei beiden erforschten Pflanzenarten ähnlich. Außerdem wurde Folgendes festgestellt: der Glyphosat verursacht höhere Permeabilität von den Hauten und verstärkt die induktive Wirkung von EDTA. Die gleichzeitige Applikation von EDTA und Glyphosat hat vermutlich zur Folge, dass die Komplexe PbEDTA und CdEDTA in der Wurzel über die Endodermis radial durch Apoplaste und Symplaste transportiert werden. Der Transpirationsprozess spielt dabei nur geringe Rolle. Schon eine kleine Induktion der Hyperakkumulation und die damit verbundene niedrige Permeabilität von Hauten, entscheiden über den Transport von den Komplexen PbEDTA und CdEDTA, vorwiegend durch die Apoplasten. Der Transport hängt von der Transpiration ab und kann durch die transpirationsbegünstigenden Faktoren modifiziert werden.

Redaktor: Barbara Todos-Burny
Projektant okładki: Małgorzata Pleśniar
Redaktor techniczny: Barbara Arenhövel
Korektor: Magdalena Białek

Copyright © 2011 by
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336
ISBN 978-83-226-2020-5

Wydawca
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice
www.wydawnictwo.us.edu.pl
e-mail: wydawus@us.edu.pl

Wydanie I. Ark. druk. 10,0. Ark. wyd. 12,0.
Papier offset. kl. III, 90 g Cena 16 zł (+ VAT)

Łamanie: Pracownia Składu Komputerowego
Wydawnictwa Uniwersytetu Śląskiego
Druk i oprawa: PPHU TOTEM s.c.
M. Rejnowski, J. Zamiara
ul. Jacewska 89, 88-100 Inowrocław