



СОРТОВИ РАЗЛИЧИЯ В АКУМУЛАЦИЯТА НА КАДМИЙ В ОРГАНИТЕ НА РАСТЕНИЯ ОТ ТВЪРДА ПШЕНИЦА

ЛЮБКА КОЛЕВА¹, АНДОН ВАСИЛЕВ¹, ЦВЕТАНКА БИНЕВА², ДОНКА
СТАНЕВА², ИВАНКА ЙОРДАНОВА²

¹Аграрен университет – Пловдив, бул. Менделеев 12, 4000 Пловдив, България

²Институт по почвознание “Н. Пушкарров”, Шосе Банкя 7, 1080 София, България

CULTIVAR DIFFERENCES IN CADMIUM ACCUMULATION IN ORGANS OF DURUM WHEAT

LYUBKA KOLEVA¹, ANDON VASSILEV¹, DONKA STANEVA², TSVETANKA
BINEVA², IVANKA YORDANOVA²

¹Agricultural University of Plovdiv, 12 Mendeleev Blvd. 4000 Plovdiv, Bulgaria

²Nikola Poushkarov Institute of Soil Science, 7 Shousse Bankya Str., Sofia, Bulgaria

Abstract

Lab and greenhouse experiments have been conducted to study plant Cd accumulation and plant performance of five durum wheat cultivars grown in Cd-contaminated conditions. The results obtained in hydroponics experiments using ¹⁰⁹Cd radiotracer revealed that the plants from cv. Zagorka had the highest Cd accumulation in both roots and leaves, which corresponded to the higher level of grain Cd accumulation in this cultivar, when grown in pot-soil conditions. On the contrary, the plants from cv. Vazhod had the lowest grain Cd accumulation, which was in accordance with its leaf ¹⁰⁹Cd accumulation. The soil Cd concentration of 10 mg/kg did not induce any physiological disorders in wheat plants as judged by leaf gas exchange parameters, chlorophyll content, plant dry biomass and grain production, but provoked grain Cd accumulation 16-28 fold higher than the accepted limit value.

Key words: durum wheat, cadmium, cultivars, photosynthesis, productivity

УВОД

Замърсяването на почвата с тежки метали е актуален екологичен проблем в световен мащаб. Съвременното общество проявява особено силна загриженост към замърсяването с кадмий поради високата подвижност на този елемент в системата почва-растение, което позволява бързото му постъпване в хранителните вериги. Системното приемане на растителни

храни с повишено съдържание на този метал предизвиква заболявания при хората, а повишените му концентрации в почвата – хронична фитотоксичност (Vassilev et al., 1998). Поради това Международната организация за хранителни стандарти (Codex Alimentarius Commission) определи ниска стойност на ПДК Cd в зърното на редица култури - 0.1 mg / kg (Harris and Taylor, 2001).

Известно е, че някои селскостопански култури, сред които и твърдата пшеница, имат генетична склонност за повишена акумулация на тежкия метал Cd в зърното (Li et al., 1995). За намаляване на съдържанието на Cd в зърното при пшеница, слънчоглед и други култури се провеждат скринингови изследвания и целенасочена селекция на генотипове с ниска акумулация на тежкия метал (Stolt et al., 2006; Oliver et al., 1995; Greger and Löfstedt, 2004). За ранна и бърза идентификация на фенотипове с ниска акумулация на Cd се провеждат лабораторни биотестове с използване на радиоактивен Cd (Archambault et al, 2001).

Информация за акумулацията на Cd в зърното и толерантността на български сортове твърда пшеница към тежкия метал липсва. Това мотивира провеждането на комплексни физиологични и агроекологични изследвания по разглеждания проблем.

Цел на изследването е проследяване на сортовите различия в натрупването на радиоактивен Cd от млади пшенични растения, както и акумулацията и физиологичните ефекти на тежкия метал в различни сортове твърда пшеница, отглеждани върху изкуствено замърсена със стабилен Cd почва.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

За решаване на така поставената задача в периода 2007 – 2008 г в Аграрния университет – Пловдив, Института по почвознание “Н Пушкиров” – София и Института по памука и твърдата пшеница – Чирпан са изведени лабораторни и вегетационни опити. Моделен обект са пшенични растения от от сортовете Белослава, Явор, Загорка, Сатурн 1 и Възход.

В лабораторните опити е проучено поглъщането и разпределението на Cd в корените и листата на млади пшенични растения. Растенията са отгледани в Аграрния университет, а радиоактивните изследвания са проведени в Изотопната лаборатория на Института по почвознание – София, както е описано по-рано (Koleva et al, 2008). Накратко, 16 - 18 дневни пшенични растения са отглеждани за 24 часа върху разтвори, съдържащи 1 μM стабилен Cd и 300 Bq / ml радиоактивен ^{109}Cd . Съдържанието на ^{109}Cd в листата и корените на растенията е определено чрез γ -спектрометър DSA 1000 на фирмата CANBERRA с Ge детектор ефективност 20%.

Вегетационният опит е изведен през 2008 г. в Института по памука и твърдата пшеница в Чирпан. Растения от изследваните 5 сорта твърда пшеница са отгледани върху изкуствено замърсена с 10 mg Cd /kg почва. Кадмият е внесен в почва с фоново съдържание на Cd - 1 mg / kg под формата на $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ чрез изпръскване с пулверизатор по начин, описан по-рано (Vassilev et al., 1998). Опитната постановка включва 10 варианта (5

сорта на 2 фона – незамърсена и замърсена с Cd почва), заложени в 3 повторения (съдове с обем 5 литра). Почвата в съдовете е наторена със 100 mg амониев нитрат на kg почва. Във всеки съд за засяти по 10 растения, броят на които след поникването е редуциран до 7. Растенията са отглеждани до пълна зрялост при тегловно поддържане на почвена влажност в границите 70 - 75% от пределната полска влагоемност. През вегетацията са проведени физиологични измервания, а в края на опита е определена продуктивността на пшеницата и съдържанието на Cd в органите на растенията.

Листния газов обмен (скорост на нето фотосинтезата - A, интензивност на транспирацията - E и устична проводимост - g_s) и съдържанието на фотосинтетични пигменти са определени във фенофаза наливане на зърното във флаговия лист на централното стъбло. Изследванията на газовия обмен са извършени с портативна фотосинтетична система LCA-4 (ADC, England). Пигментите са екстрахирани с 80 % ацетон и концентрацията им е определена спектрофотометрично по Lichtenthaler (1987).

Сухата маса на растенията е определена тегловно чрез изсушаване при 80°C за 48 h. Анализите на съдържанието на Cd в корените, стъблата, листата и зърното са извършени в Лабораторния комплекс на Аграрния университет чрез ICP – AES. Подготовката на растителните проби включва сухо минерализиране при 500 °C с предварителна добавка на азотна киселина и разреждане на остатъка с 0.2 M азотна киселина.

Статистическата обработка на резултатите е проведена чрез еднофакторен дисперсионен анализ (ANOVA при $P < 0.05$) и тест на Дънкан.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Резултатите от таблица 1 показват, че при хидропонно отглеждане на пшеничните растения, с най-висока коренова акумулация на ^{109}Cd се отличава сорт Загорка. Измерената радиоактивност 744 ± 40 Bq / g свежа маса е доказано по-висока от тази на останалите сортове. При останалите сортове радиоактивността на корените варира в границите 374-454 Bq / g, като не се наблюдават доказани сортови различия.

От гледна точка на здравния риск е важно да се установи каква част от Cd се транслоцира и акумулира в надземните органи и най-вече в зърното. В предварителните опити с радиоактивен ^{109}Cd стана ясно, че над 30% от акумулирания е корените тежък метал се задържа в кореновите стени (Koleva et al., 2008) и следователно не се придвижва към надземните органи.

Резултатите показват, че листата на растенията от сорт Загорка и сорт Сатурн 1 акумулират съществено повече Cd, отколкото тези на останалите сортове. Акумулация на ^{109}Cd в листата на растенията от двата сорта е еднаква - 43 Bq / g свежа маса, въпреки че акумулацията на тежкия метал в корените на сорт Сатурн 1 е много по-ниска от тази при сорт Загорка. Останалите 3 сорта (Белослава, Явор и Възход) имат сходна акумулация в рамките на 27-29 Bq / g. Отношението ^{109}Cd листа / ^{109}Cd корени не варира значително между отделните сортове и е в границите на 5.8 – 9.5%. Вижда се, че акумулацията на Cd в корените на младите растения не винаги

корелира с акумулацията на тежкия метал в листата. Това може да се обясни, от една страна, с евентуални морфологични различия в кореновите системи при отделните сортове, а от друга, с наличието на специфични генетични фактори, определящи транслокацията на метала към надземните органи.

Таблица 1. Поглъщане на ^{109}Cd от корените и транслокация в листата на млади растения от различни сортове твърда пшеница (Bq/g свежа маса)

Сортове	Акумулация на ^{109}Cd в корените	Акумулация на ^{109}Cd в листата	Отношение ^{109}Cd листа / ^{109}Cd корени (%)
Белослава	404 ± 30 ^a	29 ± 10 ^a	6.4
Явор	350 ± 70 ^a	28 ± 8 ^a	7.7
Загорка	744 ± 40 ^b	43 ± 4 ^b	5.8
Сатурн 1	454 ± 33 ^a	43 ± 9 ^b	9.5
Възход	374 ± 60 ^a	27 ± 6 ^a	7.2

Стойностите в една колона, последвани от различни букви (a, b), се различават достоверно при $P < 0.05$.

Хидропонните разтвори и почвата като природно тяло се различават съществено по отношение на състоянието и мобилността на съдържащите се в тях елементи, в това число и тежки метали. Установяването на сходни тенденции в акумулацията на Cd в растения, отглеждани върху двете среди, би се дължало на биологични особености на растителния генотип.

Резултатите от таблица 2 показват, че съдържанието на Cd в корените на растенията от петте сорта пшеница не варира значително (36.6 – 44.1 mg / kg). Концентрациите на Cd в стъблата и листата са в границите 3,2 – 6.0 mg / kg, а в зърното от 1.60 до 2.76 mg / kg. Растенията от контролния вариант на сорт Загорка акумулират 0.27 mg Cd / kg зърно, което надвишава установената ПДК (0.1 mg / kg). Получените резултати кореспондират с наши предходни изследвания (Koleva et al., 2008).

Таблица 2. Съдържание на Cd в органите на 5 сорта твърда пшеница, отглеждана върху замърсена с тежкия метал почва (10 mg Cd/kg)

Сорт	Варианти	Съдържание на Cd (mg / kg суха маса)			
		Корени	Стъбло	Листа	Зърно
Белослава	контрола	0.46	0.12	0.22	0.09
	Cd	44.1	6.00	4.90	2.50
Загорка	контрола	0.45	0.14	0.23	0.27
	Cd	38.6	4.50	4.60	2.76
Явор	контрола	0.60	0.14	0.27	0.10
	Cd	39.9	5.70	3.20	2.54
Сатурн 1	контрола	0.40	0.16	0.23	0.06
	Cd	36.6	4.17	3.30	2.56
Възход	контрола	0.40	0.16	0.12	0.10
	Cd	37.0	4.30	3.50	1.60

Таблица 3. Влияние на почвеното замърсяване с Cd (10 mg/kg) върху съдържанието на общ хлорофил (mg/g св. маса), скоростта на фотосинтезата (A - $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$), сухата маса на растенията (g) и продуктивността (g зърно / съд) на пет сорта твърда пшеница*

Сорт	Варианти	Съдържание на Cd (mg / kg суха маса)			
		Хл. a+b	A	Суха маса	Продуктивност
Белослава	контрола	3.76	6.17	4.19	8.99
	Cd	3.98	7.07	3.82	9.53
Загорка	контрола	4.01	5.74	4.57	9.43
	Cd	3.89	6.69	4.66	10.12
Явор	контрола	3.67	8.67	4.20	8.56
	Cd	3.78	7.16	4.08	9.81
Сатурн 1	контрола	4.00	9.61	4.27	10.24
	Cd	4.11	9.31	4.53	10.38
Възход	контрола	3.54	6.64	4.58	10.94
	Cd	3.66	8.29	4.48	10.85

*Не са установени достоверни разлики ($P < 0.05$) между стойностите на изследваните параметри при вариантите контрола и замърсена с Cd почва за всеки отделен сорт.

Високата акумулация на Cd в зърното на сорт Загорка потвърждава генетичната склонност на твърдата пшеница да акумулира Cd, даже при фоновите стойности на тежкия метал в почвата (Li et al., 1995). Отглеждането на твърдата пшеница върху замърсена с 10 mg Cd / kg почва (5 пъти над ПДК), води до акумулация на тежкия метал в зърното в стойности, надвишаващи 16 – 28 пъти установения лимит. Налице са данни за различия в акумулацията на Cd при твърдата пшеница. По-ниското съдържание на тежкия метал в зърното на сорт Възход в сравнение с това на другите сортове е факт, който е установен и в предходен експеримент с комплексно замърсена с Cd, Zn и Pb почва (Koleva et al., 2008). Наблюдава се известна сходност в резултатите от хидропонните и почвените опити. Данните за акумулацията на ^{109}Cd в листата на младите, хидропонно отглеждани растения от сорт Възход и сорт Загорка кореспондират с тези за съдържанието на Cd в зърното на растенията от двата сорта (Таблица 1).

Тежките метали в почвата могат да предизвикват и прояви на метална фитотоксичност, които в крайна сметка понижават продуктивността. В предходен експеримент установихме, че индустриалното почвено замърсяване с Cd, Zn и Pb почва в концентрации съответно 10, 400 и 283 mg / kg почва съществено потиска растежа и фотосинтетичната активност на растенията и намалява продуктивността на твърдата пшеница (Koleva et al., 2008). В настоящия опит установихме, че самостоятелното Cd замърсяване на почвата в същата степен (10 mg / kg) не предизвиква физиологични нарушения и не понижава продуктивността на твърдата пшеница. Резултатите, представени в таблица 3, не показват наличие на съществени различия в съдържанието на хлорофил, фотосинтетичната скорост, сухата

маса и продуктивността на растенията, отгледани върху незамърсена и замърсена с Cd почва.

ИЗВОДИ

1. От изследваните сортове пшеница бе установено, че най-силна акумулация на Cd в зърното се наблюдава при растенията от сорт Загорка, а най-слаба при тези от сорт Възход. Трябва да се отбележи, че листата на растенията от сорт Загорка и сорт Сатурн 1 акумулират съществено повече Cd, отколкото тези на останалите сортове.
2. Замърсяването на почвата с 10 mg Cd / kg не предизвиква съществени изменения във фотосинтетичната активност, съдържанието на хлорофил, растежа и продуктивността на твърдата пшеница.

ЛИТЕРАТУРА

1. Archambault D, E Marentes, W Buckley, J Clarke, G Taylor, 2001. A rapid seedling-based bioassay for identifying low cadmium-accumulating individuals of durum wheat (*Triticum turgidum* L). *Euphytica*. 117. 175-182
2. Greger M, M Löfstedt, 2004. Comparison of uptake and distribution of cadmium in different cultivars of bread and durum wheat. *Crop Sci*. 44:501-507
3. Harris NS, G Taylor, 2001. Remobilization of cadmium in maturing shoots of near isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium accumulation. *J Exp Botany*. 52. 360. 1473-1481
4. Koleva L, D Staneva, I Yordanova, Ts Bineva, A Vassilev, 2008. Characterization of cadmium uptake by roots of durum wheat plants. *J Central European Agriculture*, Vol 9 (3). 533-538
5. Koleva L, D Staneva, I Yordanova, T Bineva, A Vassilev, 2008. Cultivar differences in Cd, Zn and Pb accumulation and productivity of durum wheat plants grown in metal contaminated soils. *Proceedings of the 8th International Conference on Food Physics and Physical Chemistry of Food*. 24-27 September. Plovdiv. Bulgaria. pp 112-119.
6. Li. Y-M, R Chaney, A Schneiter, J Miller, 1995. Genotypic variation in kernel cadmium concentration in sunflower germplasm under varying soil conditions. *Crop Sci*. 35. 137-141
7. Lichtenthaler HK, 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods enzymol.*, 148, 350-382.
8. Oliver DP, JW Gartrell, KG Tiller, R Correll, GD Cozens, BL Youngberg, 1995. Differential responses of Australian wheat cultivars to cadmium concentration in wheat grain. *Aust J Ag Res*; 46:873-86
9. Stolt P, H Asp, S Huitin, 2006. Genetic variation in wheat cadmium accumulation on soil with different cadmium concentration. *Crop/Stress Physiology J. Agronomy & Crop Science* 192, 201-208.
10. Vassilev A, I Yordanov, T Tsonev, 1998. Physiological response of barley plants (*Hordeum vulgare*) to cadmium contamination in soil during ontogenesis *Environm Poll*. 103. 287-293.