



行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

植物萃取法:草坪植物在清除重金屬污染土地上之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC 91-2313-B-034-008

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：中國文化大學景觀學系暨研究所

計畫主持人：郭毓仁

計畫參與人：郭毓仁

1

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 92 年 10 月 8 日

利用水耕法探討重金屬鎘對四種草坪草 生長發育與吸收之影響

Cadmium Uptake and Growth Inhibition of Four Turfgrass Species Using Solution Cultural System

張育森¹ 邱心怡² 張育傑³ 郭毓仁^{4*}
Yu-Sen Chang¹ Hsin-Yi Chiu² Yu-Chieh Chang³ Yu-Jen Kuo^{4*}

摘要

本試驗的目的是利用水耕栽植四種草坪草探討氯化鎘對草坪草生長發育的影響並瞭解草坪草是否在含鎘環境中具有耐受性及吸收鎘的能力。草株長成具三片完全葉後, 處理0、0.5、1.0、及1.5 mM 四種濃度的氯化鎘。鎘處理12天後採收並分析植株葉綠素a、葉綠素b、乾鮮重、含水量、及植株鎘含量。結果顯示暖季草種假儉草、類地毯草及冷季草種高狐草、多年生麥草在不同濃度之氯化鎘處理後, 根部生長顯著受到鎘的影響。莖葉乾重以高狐草下降比例最少, 表現最差的是類地毯草。根部乾重則以多年生麥草表現較佳, 乾重從不含鎘的0.056克下降到0.047克, 下降比例僅16%; 表現最差的是類地毯草。在葉片含水量方面, 下降比例由少至多分別為高狐草、多年生麥草、假儉草、及類地毯草。葉綠素含量經氯化鎘處理後, 各草種在葉綠素a、葉綠素b、及總葉綠素含量均

有下降的情形, 且隨濃度上升而下降的比例亦隨之增加。四種草在鎘處理的環境下高狐草的忍受力較強。高狐草在較高濃度0.5 mM 及1.5 mM 之氯化鎘處理環境下, 分別下降了14% 及80%, 主要的影響來自葉綠素b生成被抑制, 但是高狐草仍能忍受0.5 mM 氯化鎘處理的環境, 類地毯草, 不論是葉綠素a或b幾乎完全被抑制。從植株累積的鎘濃度結果顯示, 隨著處理濃度的升高, 植株內累積的濃度也隨之增加, 而主要累積的部位多集中在根部。雖然類地毯草的生長非常容易受到鎘處理的影響, 但是卻可以在較短的時間內吸收大量的鎘元素。本研究推論植株間之所以在鎘的處理環境中表現有所差異, 主要的原因除了品種間的差異外, 植株生長習性亦是一個關鍵。

關鍵字: 重金屬, 水耕, 草坪, 乾重, 葉綠素。

¹ 國立台灣大學園藝學系教授。Professor, Department of Horticulture, National Taiwan University.

² 國立台灣大學園藝學系碩士班研究生。Graduate assistant, Department of Horticulture, National Taiwan University.

³ 東南技術學院環境工程系助理教授。Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Tung Nan Institute of Technology.

⁴ 中國文化大學景觀系暨景觀研究所副教授。Associate Professor, Graduate Institute & Department of Landscape Architecture, Chinese Culture University.

中國文化大學景觀系, 臺北市111華岡路55號, TEL: 28618459, E-mail: kaoyj@faculty.pccu.edu.tw

(Chinese Culture University, Dept. of Landscape Architecture, 55, Hwa-Ken Rd, Taipei, Taiwan, ROC. 111)

* Corresponding Author

ABSTRACT

Pollution of water and soil by heavy metals deposited in mining and industrial operations is an environmental problem in many areas in Taiwan. Four turfgrass species of common carpetgrass, centipedegrass, tall fescue, and perennial ryegrass will be screened by using solution cultural method in this study. Four levels of treatment, including 0, 0.5 mM, 1.0 mM and 1.5 mM of Cadmium chloride (CdCl_2) were treated on the plants that contained of 3 fully expanded leaves for 12 days. From the results we found that the plant dry weight, water capacity of leaf, and chlorophyll a and b, were decreased by increased of CdCl_2 concentrations. Tall fescue showed the best performance under 1.5 mM of CdCl_2 treated environment. Reversely, common carpetgrass showed the worst performance under this high level of CdCl_2 treated environment. However, we found that the Cd accumulation in plants was increased by the increased of CdCl_2 concentrations. The Cd was accumulated on root portions better than shoot portions mostly. Common carpetgrass absorbed the most Cd metal in a short period of time compared to the other species. The authors think that the tolerance of turfgrass species to Cd metal was due to both species variation and plant growth habit.

Key words : Heavy metals, turfgrass, solution culture, dry weight, chlorophyll.

前 言

台灣的土地受到重金屬污染的問題非常嚴重，近年在桃園、彰化和高雄縣都陸續發現鎘米。根據環保署統計，全台遭到重金屬污染達五級的農田共 319 公頃(行政院環境保護署網頁，1997)。鎘是台灣十分嚴重的環境污染物，對於植物有高度的毒

性(Bercelo et al., 1988)，它會有效地抑制植物的生理代謝，特別在於光合作用的過程(Clijsters and Van Assche, 1985)。鎘影響植物的生長發育的研究報告非常多，在蔬菜方面，陳等人(1993)針對綠豆幼苗之研究發現，經鎘處理後，乾重、含水量及葉片總葉綠素濃度的合成受到影響。豌豆幼苗的研究發現，當處理鎘濃度在 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 時，生長之幼苗外觀呈蒼白及細小不正常的現象(耿，1991)。在鎘處理下，大豆豆莢的鮮重下降(Malan and farrant, 1998)。在花卉方面，百日草"猛將"品種經 $5 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 處理 4 天後產生新葉黃化的病徵，處理濃度高且時間長者，植株有矮化的情形，但是太陽品系中黃色花及紅色花品種皆沒有病徵產生但仍有明顯矮化現象(陳，1997)。水生植物亦有受鎘害的報告(萬、孫，1996)。布袋蓮在鎘濃度 $4 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 以上及長時間下會發生葉片乾枯的現象，根部呈現紫黑色且脆弱亦斷裂，若以 $7 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 處理者葉柄基部有紅色素產生(何，2002)。藻類亦有類似生長受鎘抑制之情形(Wu and Lin, 1987)。在禾本科草類方面，重金屬抑制芒草幼苗生長的程度依次為鎘、銅、汞、鉛。從八個地區的芒草品種測試中發現高山芒具最大的抗重金屬能力(Hsu and Chou, 1992)。水稻幼苗在鎘處理後，葉綠素 a、b 及總葉綠素含量均有降低的趨勢，但品種間忍受能力有程度上的差異(吳等，1997)。

假儉草又稱蜈蚣草(centipedegrass)，為具地上莖的耐熱性多年生草種原生於中國及東南亞；類地毯草(common carpetgrass)同是一種具地上莖的多年生耐熱性草，原生於西印度和中美洲。這兩種草是台灣極為常見的暖季(warm-season)草種，通常用在公園綠地。多年生麥草(perennial ryegrass)是一種簇生狀的多年生冷季(cool-season)草種，耐磨性極佳，發芽速度很快。高狐草

(tall fescue) 同是一種簇生狀的多年生冷季草種，有些微的地下莖，雖然是一種耐寒性草種，但耐寒性並不強，相反的，最大的優點，是耐熱性最佳，因此非常適宜用在台灣中、低海拔山區(郭，2001)。目前台灣政府在許多受重金屬污染的農地上種植花卉，增加剩餘利用價值，可惜在花卉選種及品質上受到很大的限制也較不具商業競爭力。使用蔬菜作物雖然克服生長速度的問題，但始終不可食用。在管理上草坪是需要定期剪草來維持品質的，因此在鎘污染區，若種植草坪草，只要定期剪草，並利用可以收集草屑的剪草機(mulching mower)小心收集並做處理及追蹤，因此台灣許多休耕的土地若成為大草坪或環保公園，可以彌補台灣綠地不足的問題，並提供居民另一種休閒方式。本試驗乃是利用水耕栽植四種草坪草作為試驗材料，並做為田間種植前的先前比較及生理觀察，除了探討氯化鎘對草坪草生長發育的影響之外，並觀察其地上部及地下部吸收鎘的情形，瞭解草坪草是否在含鎘環境中具有耐受性及吸收鎘的能力。

材料與方法

暖季草種之假儉草(*Eremochloa ophiuroides*)、類地毯草(*Axonopus affinis*)、及冷季草種之高狐草(*Festuca arundinacea*)、和多年生麥草(*Lolium perenne*)等四種草坪草種子，購自台北玫瑰花推廣中心，四種草的種子存活率(pure live seeds)都在80%左右。試驗地點於台灣大學人工氣候室。

暖季草種及冷季草種分別置於日/夜溫度30/25°C及20/15°C之溫室中(光度：晴天/陰雨10,000/20,000 lux)。將0.2~0.25克的種子分別播於離150毫升(ml)燒杯瓶口2公分的格子(0.01 m²)網架上中，燒杯中加入木村氏水耕營養液作為初期的營養來源(圖1)

(林，2001)。植株開始發芽後每三天更換一次水耕液直到植株長成具三片完全葉後，開始處理0、0.5、1.0、及1.5 mM(相當於0、114、228、342 mg·kg⁻¹)等四種濃度的氯化鎘溶液每3天更換一次。鎘處理12天後採收並分析植株葉綠素a和葉綠素b含量，測定方法是取5株地上部葉片，秤重後放入試管中，加入5 ml之N, N-dimethyl-formamide，用蠟膜封起後置於5°C黑暗中5天。以分光光度計測量葉綠素含量(Mode U-01 UV/Vis Spectrophotometer, Hitachi Ltd. Japan)，測定波長為647 nm及664.5 nm，葉綠素含量單位以mg/g-FW表示(鍾，2002)。剩餘的植株逢機取10株作為乾物重的測定，分別將草株莖葉部及根部分開後置於玻璃管中，玻璃試管不密封，放入65°C烘箱進行烘乾48小時後取出。單位以g/10 plants表示。含水量的測定是將葉片鮮重減去葉片乾重，再除上葉片乾重，單位以g/g-DW表示。

植株體內鎘含量的測定，是取0.2克去水烘乾後的植株粉末置入玻璃試管，加入2 ml之65%硝酸以及兩滴濃硫酸後，靜置24小時，在121°C下，以滅菌釜滅菌20分鐘。將消化後液體以25 mm的玻璃纖維濾紙(型號Whatman GF/C)過濾，將濾液以超純水稀釋到25 ml，之後以原子吸收光譜儀(型號Perkin-Elmer AAnalyst 100)測量。使用的鎘元素燈管的吸收波長為228.8 nm，光柵狹縫寬度為0.7 nm，線性範圍則是1.5 mg·L⁻¹。樣品直接放在鐵氟龍管讓其自動抽取，等到吸光度穩定後記錄吸光值，之後依標準曲線換算出植物體地上部及地下部鎘濃度，單位以mg·g⁻¹表示。

試驗以逢機完全區集設計處理，每個處理至少有4個重複。統計分析以鄧肯氏多變域測定法(Duncan's multiple range tests)5%顯著差異分析處理。

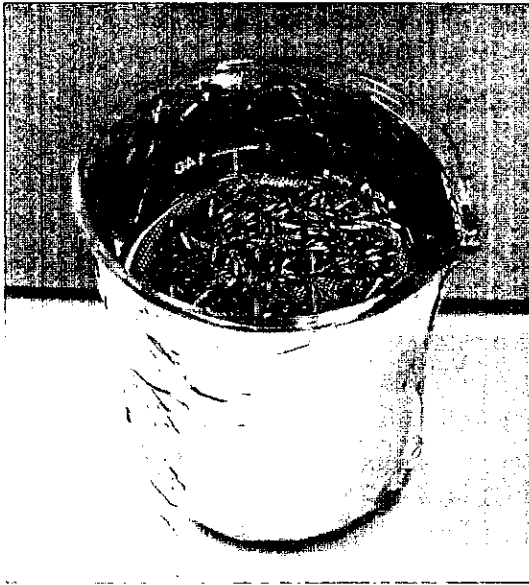


Fig. 1. The condition of turfgrass seeds incubated in solution cultural system.

結果與討論

暖季草種假儉草、類地毯草及冷季草種高狐草、多年生麥草在不同濃度之氯化鎘處理 12 天後，根部生長顯著受到鎘的影響 (表 1)。莖葉部乾重以高狐草下降比例最少。在 1.5 mM 處理下，乾重從不含鎘的 0.16 克下降到 0.12 克，下降比例僅 25%；其次為多年生麥草，乾重從不含鎘的 0.092 克下降到 0.044 克，下降比例達 52%；表現最差的是類地毯草，乾重從不含鎘的 0.039 克下降到 0.018 克，乾重下降比例達 54%。經不同濃度氯化鎘處理 12 天後，觀察生長情形發現，隨著水耕液含鎘濃度的上升及處理天數的增加，葉片逐漸出現黃化甚至焦枯，根部亦由白色轉為黃色或褐色，且根系減少。假儉草及類地毯草的黃化情形十分嚴重。根部乾重則以多年生麥草表現較佳，乾重從不含鎘的 0.056 克下降到 0.047 克，下降比例僅 16%；表現最差的是類地毯草，乾重從不含鎘的 0.025 克下降到

Table 1. The effect of different concentrations of CdCl₂ treatment on the plant dry weight (DW) and water content (WC) of four turfgrasses after 12 days

	Cd concentration (mM)	Perennial ryegrass	Tall fescue	Centipedegrass	Common carpetgrass
Shoot DW (g/10 plants)	0	0.092 a*	0.160 a	0.093 a	0.039 a
	0.5	0.058 b	0.140 b	0.053 b	0.022 b
	1.0	0.051 c	0.120 b	0.050 b	0.021 b
	1.5	0.044 c	0.120 b	0.044 b	0.018 b
Root DW (g/10 plants)	0	0.056 a	0.043 a	0.037 a	0.025 a
	0.5	0.053 a	0.032 b	0.027 b	0.011 b
	1.0	0.051 a	0.028 b	0.024 b	0.010 b
	1.5	0.047 a	0.026 b	0.020 b	0.008 b
WC (g/g-DW)	0	3.840 a	3.650 a	2.610 a	4.620 a
	0.5	3.060 b	2.980 b	1.830 b	3.550 ab
	1.0	2.850 c	2.710 bc	1.800 b	2.810 b
	1.5	2.720 d	2.640 c	1.500 c	2.330 c

* Mean within the same column followed by different letters was significantly different at 5% level by Duncan's multiple range tests.

0.008 克, 乾重下降比例達 68% (表 1)。在葉片含水量方面, 下降比例由少至多分別為高狐草、多年生麥草、假儉草、及類地毯草。在 1.5 mM 處理下, 高狐草含水量從不含鎘的 3.650 g/g-DW 下降到 2.640 g/g-DW, 下降比例僅 28%; 多年生麥草含水量從不含鎘的 3.840 g/g-DW 下降到 2.720 g/g-DW, 下降比例也僅 28%; 但是類地毯草從不含鎘的 4.620 g/g-DW 下降到 2.330 g/g-DW, 下降比例高達 50%。

四種草在鎘處理的環境下除了高狐草的忍受力較強之外, 其餘的草種葉綠素的合成能力顯著受到影響 (表 2)。葉綠素含量經氯化鎘處理後, 各草種在葉綠素 a、葉綠素 b、及總葉綠素含量均有下降的情形, 且隨濃度上升而下降的比例亦隨之增加。總葉綠素含量下降比例由少至多分別為高狐草、多年生麥草、假儉草、及地毯草。高狐草在較高濃度 0.5 mM 及 1.5 mM 之氯化鎘處理環境下, 分別下降了 14% 及 80%, 主

要的影響來自葉綠素 b 生成被抑制, 但是高狐草尚能忍受 0.5 mM 氯化鎘處理環境; 多年生麥草及假儉草都無法忍受高濃度鎘的環境, 葉綠素的生合成皆顯著受到鎘處理的影響, 表現最差的為類地毯草, 不論是葉綠素 a 或 b 幾乎完全被抑制 (表 2)。從表 3 中植株累積的鎘濃度結果顯示, 隨著處理濃度的升高, 植物體內不論是哪一個部位器官累積的濃度也隨之增加, 而主要累積的部位多集中在根部。本研究認為植物體為了防止植株莖葉受到毒害, 因此將毒質累積在根部。我們的結果和 Bartolf 等人 (1988) 所觀察到的結果非常類似, 他們認為鎘自根部吸入後會被鎘鑲合蛋白 (cadmium binding protein) 所吸引而停留在根部。類地毯草雖然生長非常容易受到鎘處理的影響而導致地上部位生長的衰退, 但是卻可以在較短的時間內吸收大量的鎘元素於根部, 是否因為具有強健的根部系統以及貯藏機制, 值得未來進一步觀察。

Table 2. The effect of different concentrations of CdCl₂ treatment on the plant chlorophyll a, and b, and total chlorophyll content a of four turfgrasses after 12 days

	Cd concentration (mM)	Perennial ryegrass	Tall fescue	Centipedegrass	Common carpetgrass
Chlorophyll a (mg/g-FW)	0	3.670 a*	1.303 a	1.117 a	2.630 a
	0.5	2.528 b	1.124 a	0.183 b	0.141 b
	1.0	0.945 c	1.132 a	0.017 c	0.033 b
	1.5	0.821 c	0.598 a	0.016 c	0.027 b
Chlorophyll b (mg/g-FW)	0	1.533 a	2.116 a	1.813 a	0.379 a
	0.5	1.116 b	1.824 a	0.047 b	0.072 b
	1.0	0.567 c	0.971 b	0.029 b	0.015 b
	1.5	0.178 d	0.078 c	0.025 b	0.014 b
Total chlorophyll (mg/g-FW)	0	5.203 a	3.419 a	2.930 a	3.009 a
	0.5	3.643 b	2.947 b	0.231 b	0.213 b
	1.0	1.512 c	2.103 c	0.046 c	0.048 b
	1.5	0.998 d	0.676 d	0.041 c	0.041 b

* Mean within the same column followed by different letters was significantly different at 5% level by Duncan's multiple range tests.

Table 3. Cadmium accumulation of four turfgrasses after treated with different concentrations of CdCl₂ for 12 days

	Cd concentration (mM)	Perennial ryegrass	Tall fescue	Centipedegrass	Common carpetgrass
Shoot (mg · g ⁻¹)	0	0.01 c**	ND*	0.01 c	ND
	0.5	0.05 b	0.13 c	0.26 c	0.36 c
	1.0	0.05 b	0.17 b	0.75 c	0.54 b
	1.5	0.07 a	0.21 a	1.58 a	0.89 a
Root (mg · g ⁻¹)	0	0.04 c	ND	0.02 c	0.37 c
	0.5	0.08 b	0.86 b	0.35 c	0.72 b
	1.0	0.10 b	1.09 ab	1.09 b	4.05 a
	1.5	0.14 a	1.65 a	1.95 a	4.07 a

* Non-detectable

** Mean within the same column followed by different letters was significantly different at 5% level by Duncan's multiple range tests.



Fig. 2. The effect of different concentrations of CdCl₂ on the plant growth of four turfgrasses after 12 days (a)tall fescue, and (b)perennial ryegrass.

各草種在經過氯化鎘的處理後, 生長顯著受到抑制, 包括植株乾鮮重、植株的含水量、及葉綠素含量等均有不同程度的影響而導致下降。鎘在植物體不同部位的累積含量各異, 本研究結果發現試驗的禾本科草類多累積在根處。冷季型的草坪品種在本試驗中, 在鎘處理後的表現比暖季型的草來的好, 而高狐草及多年生麥草都屬於簇生型的生長習性, 不同於假儉草和類地毯草的匍匐型。由於高狐草及多年生麥草在土壤中可以產生菌根菌 (endophyte) 和土壤共生, 但是在水耕栽培中則無法形成。因此本研究推論植株間之所以在鎘的處理環境中表現有所差異, 主要的原因除了品種間的差異外, 植株生長習性亦是一個關鍵。本試驗依據生長發育被抑制因素的程度來推測試驗草種在含鎘環境中生長的耐性。不同濃度 0、0.5、1.0、1.5 mM 之氯化鎘處理下, 均顯示高狐草有較好的耐性, 其次為多年生麥草 (圖 2a, 及 2b)。而假儉草及類地毯草在 0.5 mM 以上的濃度處理 12 天後, 葉片均如枯草般地嚴重黃化。本實驗結果利用水耕方法來探測草坪品種對鎘的吸收評估, 提供快速的檢驗技術提供育種家參考, 並作為未來處理重金屬鎘污染土地作為植物復育用品種之參考。本研究亦印證前人運用水耕法在其他作物上之研究技術 (Fett et al., 1994)。

致 謝

本研究的完成感謝國科會的經費補助 (NSC 91-2313-B-034-008), 及台灣大學農藝學系洪國棟先生的實驗協助。

參考文獻

行政院環境保護署網頁。1997。
[Http://www.teputc.org.tw/env_news/199707/86072](http://www.teputc.org.tw/env_news/199707/86072)。

- 吳詩都、宣大平、曾富生。1997。水稻幼苗對鎘耐性品種間差異之研究。中華農藝 7:31-39。
- 林慧靜。2001。草坪植物耐寒性指標與提高耐寒性之研究。碩士論文。台北：國立台灣大學園藝學研究所碩士論文。
- 郭毓仁。2001。土木防災工程教育改進計劃-草在水土保持植生工程上之應用 (光碟)。台北：教育部。
- 鍾旻潔。2002。溫度季節容器大小與矮化劑對盆菊生育及品質之影響。碩士論文。台北：國立台灣大學園藝學研究所碩士論文。
- 耿正屏。1991。鎘對豌豆幼苗及細胞的氮代謝影響。中華農學會報 154:21-31。
- 陳維婷。1997。鎘在百日草植株中的分佈及對植株形態和生理的影響碩士論文。台北：國立台灣大學園藝學研究所碩士論文。
- 陳麗芬、林慧玲、林深林、李國權。1993。鎘對綠豆生長及生理之影響。興大園藝 18:61-71。
- 萬桂竹、孫岩章。1999。四種水生植物對鎘之反應與吸收。中華民國環境保護學會會誌 22:11-20。
- Barcelo, J., M. D.Vazquez, and C. Poschenrieder. 1988. Structural and ultrastructural disorders in cadmium-treated bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *New Phytol.* 108:37-49.
- Bartolf, M., E. Brennan, and C. A. Price. 1980. Partial characterization of a cadmium binding protein from the roots of cadmium-treated tomato. *Plant Physiol.* 66:438-441.
- Clijsters, H., and F. Van Assche. 1985. Inhibition of photosynthesis by heavy metals. *Photosynth. Res.* 7:31-40.
- Fett, J. P., J. Cambraia, M. A. Oliva, and C. P. Jordao. 1994. Cadmium uptake and growth

- inhibition in water hyacinths: Effects of nutrient solution factors. *J. Plant Nutri.* 17:1205-1217.
- Hsu, F. H. and C. Chou. 1992. Inhibitory effects of heavy metals on seed germination and seedling growth of *Miscanthus* species. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 33:335-342.
- Kuo, Y., M. A. L. Smith, and L. A. Spomer. 1994. Merging callus level and whole plant microculture to select salt-tolerant 'seaside' creeping bentgrass. *J. Plant Nutrition* 17(4):549-560.
- Malan, H. L., and J. M. Farrant. 1998. Effects of the metal pollutants cadmium and nickel on soybean seed development. *Seed Sci. Res.* 8(4):445-453.
- Wu, J. T. and S. M. Lin. 1987. Inhibitory effect of cadmium on the growth nitrate utilization of *Cacalstrum astroidem*. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 28:81-89.