

不同 Cd 水平对小白菜生长及其营养元素含量的影响

孙光闻^{1,2}, 朱祝军¹, 方学智^{1,3}

(1.浙江大学农业与生物技术学院园艺系,浙江 杭州 310029;2.华南农业大学园艺学院,广东 广州 510642;3.中国林业科学研究院亚热带林业研究所,浙江 富阳 314000)

摘要:采用温室内液体培养方法,研究了不同 Cd 水平对 2 种小白菜(*Brassica chinensis* L.)沪青 1 号、杭州油冬儿的生长及营养元素含量影响。结果表明,培养液中添加 Cd 抑制了 2 种小白菜生长及叶绿素含量;2 种小白菜地上部及根中的 Cd 含量随营养液中 Cd 浓度的增加而极显著增加,且植株从培养液中吸收的 Cd 大部分积累在根中。Cd 影响小白菜对营养元素吸收和转运,但这种影响随着元素、植株部位的不同及 Cd 离子在介质中浓度的不同而不同,不同品种间也存在一定的差异。

关键词:Cd; 小白菜; 营养元素; 生长

中图分类号:S131.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)04-0658-04

Effects of Different Cadmium Levels on the Growth and Nutrient Elements in Pakchoi

SUN Guang-wen^{1,2}, ZHU Zhu-jun¹, FANG Xue-zhi^{1,3}

(1. Department of Horticulture, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 314000, China)

Abstract: A hydroponic experiment was carried out to determine the effects of different Cd levels (0, 1, 10 mg·L⁻¹ Cd) on the growth and nutrient elements in two pakchoi cultivars, cv. Huqing No.1 and cv. Hangzhouyoudong. The results showed that Cd inhibited the growth and reduced chlorophyll contents of two cultivars. The root dry weight (DW), shoot dry weight, and chlorophyll content (SPAD value) decreased with increasing Cd concentrations in the culture solution. Cd was easily taken up by the plants and concentrations in shoots and roots in both of two cultivars increased with increasing Cd concentrations in the medium. Most of Cd absorbed by plants remained in the roots, and the shoot was more sensitive than the root to Cd stress. Cd affected the nutrient elements absorption and transport. The contents of K and Mg in shoots of both cultivars showed no significant differences in the three treatments, but contents of S in shoots of both cultivars had a rise-fall tendency with increasing Cd concentrations. 1 mg·L⁻¹ Cd had no significant effect on K contents, but 10 mg·L⁻¹ Cd significantly decreased K contents in roots of both cultivars. Ca contents decreased, but S contents increased significantly in roots of both cultivars under the two Cd treatments. Mn contents both in roots and shoots were decreased under the Cd treatment. The effects of Cd on the other nutrient elements were dependent on the elements, plant tissue, Cd concentrations and cultivars.

Keywords: cadmium; pakchoi; nutrient elements; growth

Cd 是毒性最强的重金属污染元素之一。Cd 能引起植物中毒,从而导致植株形态、生理生化及结构上发生改变^[1]。Cd 可使营养元素不平衡进而对植物生长

产生影响^[2-3]。本试验以 2 种小白菜为材料,初步探明了不同 Cd 水平对小白菜各种营养元素的吸收和累积的影响,并对 Cd 与矿质元素之间关系进行了探讨。

1 材料与方法

试验于 2002 年 10 月—2003 年 1 月在浙江大学

收稿日期:2004-12-06

作者简介:孙光闻(1968—),女,博士、讲师。

E-mail:sungw1968@scau.edu.cn

联系人:朱祝军 E-mail:zhzhu@zju.edu.cn Tel:0571-86971354

蔬菜研究所玻璃温室中进行。小白菜品种为沪青 1 号和杭州油冬儿,种子经消毒处理后播于湿润的蛭石中,出苗后浇稀释的完全营养液,4 周后挑选生长一致的幼苗移栽到装有 4 L 营养液的塑料桶中进行预培养,每桶 4 株。

全营养液配方如下 (mmol·L⁻¹):Ca (NO₃)₂ 3.0, KNO₃ 4.0, KH₂PO₄ 1.0, MgSO₄ 1.0, MnCl₂ 3.6×10⁻³, H₃BO₃ 4.5×10⁻², CuSO₄ 8×10⁻⁴, ZnSO₄ 1.5×10⁻³, H₂MoO₄ 9.1×10⁻⁵, EDTA-Fe 9.0×10⁻²(pH 6.0)。

预培养两周后,向营养液中加入 CdSO₄ 使营养液中 Cd 的浓度为 1 mg·L⁻¹ 和 10 mg·L⁻¹,以不加 Cd 为对照。每 3 d 更换一次营养液,连续通气。随机区组排列,每处理重复 4 次。处理 20 d 分别取植株顶部最大完全展开功能叶片进行叶绿素含量测定 (SPAD 值)。然后将所有植株收获,地上部及根部分开,根用去离

子水冲洗干净,再将根及地上部组织烘干、称重。烘干样品采用 HNO₃-HClO₄ (2:1) 消煮,ICP-AES 测定 Cd 及各种营养元素含量;叶绿素用叶绿素计 (SPAD-502, Minolta Co., Ltd., Japan)测定。

2 结果与分析

2.1 Cd 水平对小白菜生长及其叶绿素含量的影响

表 1 表明,在培养液中添加 Cd 抑制了小白菜的生长,减少了叶绿素含量,2 种小白菜的地上部干重及根干重随着培养液中 Cd 离子浓度升高而降低,但这种影响依培养液中 Cd 浓度以及不同品种而有差异。10 mg·L⁻¹ Cd 显著降低了 2 种小白菜地上部干重及根干重。对叶绿素含量的影响两品种表现一致,在 2 个 Cd 水平下叶绿素含量均显著降低。Cd 对小白菜地上部的影响要大于对根系的影响。

表 1 Cd 对小白菜生长和叶绿素含量的影响

Table 1 Effects of Cd on the growth and chlorophyll content of pakchoi

品种	Cd 水平 /mg·L ⁻¹	地上部干重 /g·plant ⁻¹	根干重 /g·plant ⁻¹	叶绿素含量 (SPAD Value)
沪青 1 号	0	0.90±0.12 a	0.10±0.01 a	44.65±1.01 a
	1	0.60±0.14(-24.1) b	0.08±0.002(-19.5) ab	39.30±1.02(-11.8) b
	10	0.30±0.05(-60.21) c	0.06±0.01(-38.3) b	40.43±1.17(-9.5) b
杭州油冬儿	0	1.23±0.30 a	0.15±0.03 a	51.08±2.00 a
	1	0.90±0.15(-25.7) a	0.12±0.01(-17.2) b	40.50±3.26(-20.7) b
	10	0.40±0.10(-65.9) b	0.10±0.01(-33.3) b	37.80±1.90(-25.8) b

注:括号中数字为与各自对照的增减百分率;各列中不同小写字母表示同一品种不同 Cd 水平比较差异显著(P<0.05)。

2.2 小白菜根及地上部 Cd 含量

表 2 表明,小白菜地上部及根中的 Cd 含量随培养液中 Cd 浓度的增加而极显著增加。未添加 Cd 的对照植株地上部 Cd 含量很低,沪青 1 号为 0.42 μg·g⁻¹ DW,杭州油冬儿为 0.29 μg·g⁻¹ DW;添加 1 mg·L⁻¹ Cd 时分别为 60.6 和 47.5 μg·g⁻¹ DW;添加 10 mg·L⁻¹ Cd 时则分别为 297.1 和 323.7 μg·g⁻¹ DW。植株从培养液中吸收的 Cd 大部分积累在根中,仅有一小部分输送到地上部分。

2.3 Cd 水平对小白菜大中量元素含量的影响

表 3 表明,与对照相比,2 个 Cd 水平对 2 种小白

菜地上部 K、Mg 及沪青 1 号的 Ca 含量无明显影响,但 10 mg·L⁻¹ Cd 使杭州油冬儿的地上部 Ca 含量显著降低;两种小白菜地上部的 S 含量则随着 Cd 浓度升高而呈先升后降的趋势。1 mg·L⁻¹ Cd 对 2 种小白菜根中 K 含量无明显影响,10 mg·L⁻¹ Cd 显著降低了 2 种小白菜根中 K 含量;2 个 Cd 水平均显著降低了根中 Ca 的含量,显著增加根中 S 的含量;对根中 Mg 含量无明显影响。

2.4 Cd 水平对小白菜微量元素含量的影响

从表 4 看出,2 个 Cd 处理对 2 种小白菜地上部 Fe 含量无显著影响;10 mg·L⁻¹ Cd 显著增加根中的 Fe

表 2 小白菜根及地上部的 Cd 含量

Table 2 Cd concentrations in shoots and roots of pakchoi

品种	地上部 Cd 含量/μg·g ⁻¹ DW			根系 Cd 含量/μg·g ⁻¹ DW		
	Cd 0	Cd 1	Cd 10	Cd 0	Cd 1	Cd 10
沪青 1 号	0.42±0.05	60.6±1.8	297.1±39.7	nd	484.1±34.6	5725.7±241.7
杭州油冬儿	0.29±0.03	47.5±2.0	323.7±39.0	nd	389.2±41.4	5726.0±253.2
均值	0.35	54.1	310.4	nd	436.7	5725.8

注:nd,未检出;Cd 0、Cd 1、Cd 10 分别表示 0、1、10 mg·L⁻¹ Cd 添加量。

表 3 小白菜地上部及根中大中量元素含量

Table 3 Contents of macro and medium-elements in shoots and roots of pakchoi

品种	Cd 水平 /mg·L ⁻¹	地上部/mg·g ⁻¹ DW			
		K	Ca	Mg	S
沪青 1 号	0	16.2±0.30 a	2.34±0.14 a	1.52±0.19 a	5.88±0.98 b
	1	15.9±0.35 a	2.45±0.07 a	1.67±0.06 a	6.89±0.44 a
	10	16.2±0.17 a	2.44±0.01 a	1.70±0.06 a	6.01±0.24 b
杭州油冬儿	0	16.4±0.31 a	2.52±0.06 a	1.65±0.05 a	7.19±1.03 b
	1	15.9±0.43 a	2.48±0.04 ab	1.61±0.09 a	7.50±0.01 a
	10	15.9±0.48 a	2.40±0.03 b	1.82±0.39 a	6.03±1.04 c

品种	Cd 水平 /mg·L ⁻¹	根/mg·g ⁻¹ DW			
		K	Ca	Mg	S
沪青 1 号	0	25.89±0.39 a	7.13±0.61 a	3.23±0.22 a	7.91±0.64 b
	1	26.52±0.57 a	5.66±0.38 b	3.43±0.29 a	8.89±0.26 a
	10	23.9±1.58 b	6.05±0.33 b	3.28±0.40 a	9.80±0.39 a
杭州油冬儿	0	27.43±0.74 a	7.84±0.44 a	3.10±0.30 a	7.39±0.49 b
	1	28.42±1.38 a	6.32±0.17 b	3.25±0.12 a	9.41±0.4 a
	10	25.1±0.70 b	6.73±0.29 b	3.33±0.10 a	10.03±1.03 a

注:同一栏中不同字母表示同一品种不同 Cd 水平下差异显著(*P*<0.05)。(下同)

表 4 小白菜地上部及根中微量元素含量

Table 4 Contents of micro-elements in shoots and roots of pakchoi

品种	Cd 水平 mg·L ⁻¹	地上部/μg·g ⁻¹ DW		
		Fe	Mn	Zn
沪青 1 号	0	118.18±28.63 a	84.21±5.69 a	38.86±5.01 a
	1	106.65±21.88 a	72.64±2.66 b	40.56±3.40 a
	10	100.73±26.57 a	54.73±3.92 b	31.66±6.63 b
杭州油冬儿	0	98.52±5.52 a	105.35±9.47 a	24.80±4.93 b
	1	97.88±15.76 a	65.54±7.65 b	23.12±6.40 b
	10	87.51±8.25 a	55.26±4.44 b	35.08±4.97 a

品种	Cd 水平 mg·L ⁻¹	根/μg·g ⁻¹ DW		
		Fe	Mn	Zn
沪青 1 号	0	3 340.33±252.60 b	682.9±26.43 a	45.50±1.10 b
	1	3 739.33±837.17 b	200.73±29.23 b	41.90±4.86 b
	10	7 187.30±777.50 a	121.17±10.50 c	73.39±5.26 a
杭州油冬儿	0	3 744.00±476.05 b	588.83±59.24 a	29.05±3.01 b
	1	3 572.00±197.19 b	343.20±38.18 b	39.52±2.36 b
	10	6 381.67±236.77 a	144.20±26.29 c	61.63±4.09 a

含量,显著降低了地上部及根中 Mn 的含量;1 mg·L⁻¹ Cd 对 2 种小白菜地上部及根中 Zn 含量无明显影响,10 mg·L⁻¹ Cd 使沪青 1 号地上部 Zn 含量显著降低,使杭州油冬儿地上部 Zn 含量显著升高,显著增加两种小白菜根中的 Zn 含量。

3 结论

有关 Cd 抑制植株生长、引起毒害症状已有报道^[4,5]。本试验结果表明,营养液中添加 Cd 对小白菜植株产生了明显的毒害症状,表现为叶片失绿、变小、变窄,根系变褐、伸长生长受阻,呈丛生状态,地上部及根的干物重降低,叶绿素含量下降,这种影响随 Cd

离子在介质中的浓度增加而加剧,且品种及组织器官间存在差异。地上部比根部更易受 Cd 影响。

植物对环境中 Cd 的吸收及在植株体内的分布随不同植物种类、品种及同一品种的不同器官而不同^[3,6-8],且植株吸收的 Cd 大部分积累在根中,极少部分转运到地上部^[2,9,10]。本试验也得到了类似结果,两种小白菜根及地上部 Cd 的含量显著高于未加 Cd 处理的对照,且随着培养液中 Cd 浓度的增加而增加,Cd 主要积累在根中。

对于大量元素而言,高浓度的 Cd 影响了根对 K 的吸收,但对其转运无明显影响;Cd 加速了小白菜根对 S 的吸收,低浓度时亦加速 S 向地上部转运,高浓

度时则抑制其向地上部转运;Cd抑制根对Ca的吸收,但其向地上部运输则因品种和Cd处理浓度而异,两种小白菜相比,杭州油冬儿地上部Ca受Cd影响更大;根和地上部的Mg元素则对Cd不敏感。

在微量元素中,Mn受Cd的影响最大,表现为2个Cd水平均显著降低2种小白菜根及地上部Mn含量;低浓度Cd对根系Fe的吸收无明显影响,高浓度Cd则显著增加了根系对Fe的吸收,但2个Cd水平都不影响Fe向地上部运输;低浓度Cd对2种小白菜地上部及根中Zn含量均无明显影响,高浓度Cd显著增加了2种小白菜根对Zn的吸收,但对地上部Zn的影响2种小白菜趋势不同,高浓度Cd使沪青1号地上部Zn含量显著降低,使杭州油冬儿地上部Zn含量显著增加。

由以上结果可以得出如下结论:在本试验条件下,Cd影响了小白菜的生长及营养元素的吸收和转运,营养液中添加Cd对小白菜矿质元素含量的影响随着不同元素、不同植株部位及Cd离子在介质中的浓度不同而不同,且不同品种间也存在一定的差异。Cd影响植物对矿质元素的吸收及分配^[11-13]导致严重的营养缺乏及营养不平衡,从而进一步影响产量^[14],Cd与必需元素之间的这种相互作用可能是导致植物产生毒害的原因之一^[15]。

参考文献:

- [1] Shah K, Dubey R S. Cadmium elevates level of protein, amino acids and alters activity of proteolytic enzymes in germinating rice seeds [J]. *Acta Physiol Plant*, 1998, 20: 189–196.
- [2] Zhang G P, Fukami M, Sekimoto H. Genotypic differences in effects of cadmium on growth and nutrient compositions in wheat [J]. *J Plant Nutr*, 2000, 9: 1337–1350.

- [3] Obata H, Umabayashi M. Effects of cadmium on mineral nutrient concentrations in plants differing in tolerance for cadmium [J]. *J Plant Nutr*, 1997, 20(1): 97–105.
- [4] Zhang G P, Fukami M, Sekimoto H. Influence of cadmium on mineral concentrations and components in wheat genotypes differing in Cd tolerance at seedling stage [J]. *Field Crops Res*, 2002, 77: 93–98.
- [5] Wu F B, Zhang G P, Dominy P. Four barley genotypes respond differently to cadmium: lipid peroxidation and activities of antioxidant capacity [J]. *Environ Expri Bot*, 2003, 50: 67–78.
- [6] Moreno-Caselles J, Moral R, Pérez-Espinoza A et al. Cadmium accumulation and distribution in cucumber plant[J]. *J Plant Nutri*, 2000, 23 (2): 243–250.
- [7] Bogess S F, Willavize S, Koeppel D E. Differential response of soybean cultivars to soil cadmium [J]. *Agron J*, 1978, 70: 756–760.
- [8] Grant C A, Buckley W T, Bailey L D, et al. Cadmium accumulation in crops [J]. *Can J Plant Sci*, 1998, 78: 1–17.
- [9] Hernández L E, Carpena-Ruiz R, Gárate A. Alteration in the mineral nutrition of pea seedlings exposed to cadmium[J]. *J Plant Nutr*, 1996, 19 (12): 1581–1598.
- [10] Simon L. Cadmium accumulation and distribution in sunflower plant [J]. *J Plant Nutr*, 1998, 21(2): 341–352.
- [11] Costa G, Morel J L. Efficiency of H⁺-ATPase activity on cadmium uptake by four cultivars of lettuce [J]. *J Plant Nutr*, 1994, 17: 627–637.
- [12] Burzyński M. The uptake and accumulation of phosphorous and nitrates and the activity of nitrate reductase in cucumber seedlings treated with Pb and Cd [J]. *Acta Soc Bot Pol*, 1988, 57: 349–359.
- [13] Trivedi S, Erdei L. Effects of cadmium and lead on the accumulation of Ca²⁺ and K⁺ and on the influx and translocation of K⁺ in wheat of low and high K⁺ status [J]. *Physiol Plant*, 1992, 84: 94–100.
- [14] Dudka S, Piotrowska M, Terelak H. Transfer of cadmium, lead and zinc from industrially contaminated soil to crop plants: a field study [J]. *Environ Pollution*, 1996, 94: 181–188.
- [15] Ramos I, Esteban E, Lucena J J et al. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca* sp. Cd–Mn interaction[J]. *Plant Sci*, 2002, 162: 761–767.