

紫茉莉光合特性和矿质吸收对镉胁迫的响应

陈红辉, 柯世省, 马必利, 钟永军, 周合合

(台州学院 生命科学院 浙江 临海 317000)

摘要: 采用土培试验研究了不同水平镉处理下紫茉莉生长、光合作用和矿质元素吸收的相关指标。结果表明, 较高浓度(25 mg/kg)镉胁迫下紫茉莉的生长受到明显抑制, 紫茉莉对镉具有较高的富集能力, 对镉毒性具有很强的抗性; 镉胁迫下紫茉莉叶片净光合速率和气孔导度均明显减小, 但胞间 CO₂ 浓度和最大光化学效率的变化不明显, 矿质元素 Fe、K 和 Mg 含量均明显降低。

关键词: 紫茉莉; 生长; 光合特性; 矿质元素; 镉胁迫

中图分类号: S 685.16; S 603.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)05-0175-04

镉(Cd)是影响作物生长和产量的最具毒性的重金属元素之一^[1]。农田镉污染主要源于人类活动, 如工业废水排放、采矿及含镉污泥和化肥的使用等^[2]。在我国许多地区, 农田镉污染给农业生产和人体健康造成了严重后果, 且已经危及到我国食品安全。土壤镉污染的治理已相当紧迫^[3]。近年来, 植物修复(Phytoremediation)作为一种新兴的环境治理技术, 已成为学术界研究的热点。植物修复主要指利用植物清除污染土壤中的重金属, 主要依赖于超积累植物(Hyperaccumulator), 利用超积累植物比普通植物高出几十倍到几百倍的富集重金属的能力可显著提高污染土壤的修复效率。目前已发现几百种超积累植物, 因此利用超积累植物治理土壤重金属污染的现实可能性不断增加。到目前为止, 世界各地已发现的超积累植物主要是 Ni 超积累植物, 而 Cd 超积累植物却比较少见^[4]。最近发现紫茉莉(*Mirabilis jalapa*)是一种高生物量的镉富集植物^[5,6], 是我国广为分布和种植的药用花卉, 对于我国镉超积累和镉富集植物资源筛选工作的开展, 具有积极的推动作用。有关紫茉莉富集镉的机制还不十分清楚, 紫茉莉对镉胁迫的生理响应及抗性机制的研究鲜有报道。该研究以土培紫茉莉幼苗为材料, 探讨不同水平镉处理对紫茉莉生长、光合作用和矿质元素吸收的影响, 为紫茉莉应用于镉污染土壤的植物修复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 植物材料和生长条件

紫茉莉(*Mirabilis jalapa*)种子于 2007 年 4 月 10 日播于校内生物园地, 5 月 13 日当紫茉莉幼苗长出 1~2 对真叶时移栽至塑料盆中, 每盆 4 株。塑料盆高 15 cm, 上口内径 7 cm, 装阴干花土 1.0 kg。盆栽的紫茉莉遮荫生长(光照强度约为全光照的 50%), 自然光照, 保持土壤含水量为最大田间持水量的 70%。移栽后 2 d 浇灌 1/2 Hoagland 营养液 100 mL, 1 周后加 1 次尿素(0.1 g/kg 土)和 K₂HPO₄ (0.2 g/kg 土)溶液。7 月 11 日将 CdCl₂ · 2.5H₂O 配成水溶液加入盆土中, 使加入土壤中的镉浓度分别达到 0 (CK)、1、5、10、25、50、100、200 mg/kg, 对照和镉处理均为 3 盆, 随机摆放。镉处理 20 d 后测定各项指标, 此时紫茉莉生长龄为 80 d。

1.2 测定方法

1.2.1 光合特性测定 在室内控制条件下进行, 用 LCA4 型光合作用仪(ADC, UK)控温装置控制叶室温度为 (30±1) °C, 光合有效辐射为 (700±20) μmol · m⁻² · s⁻¹, 空气 CO₂ 浓度为 (350±10) μmol/mol, 叶片连体测定。每种浓度镉处理分别测试来自不同植株的 3 张顶部下数第 4 对成熟叶片, 每叶片重复记录 4~6 组数据, 结果取平均值。测定的指标有净光合速率(P_n)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)和气孔导度(C_s)。凌晨, 以 OS30P 型叶绿素荧光测定仪(OPTI-sciences, USA)采用快速动力学法测定叶片的最大光化学效率(F_v/F_m), 测定前将叶片夹入暗适应夹 2 h。

1.2.2 生长分析 测定光合特性后, 在土壤表面将紫茉莉植株剪断, 地上部分区分茎、叶。茎、叶洗净后 105 °C 杀青 10 min, 75 °C 烘干分别称重。从盆中取出整土, 用自来水小心冲刷土块, 收集全部根系, 洗净烘干称重。根、茎和叶分别用 XA-1 型植物样品粉碎机粉碎, 过

第一作者简介: 陈红辉(1986-), 女, 浙江台州人, 本科在读, 研究方向为植物生理学。

通讯作者: 柯世省(1965-), 男, 教授, 现主要从事植物生理生化方面教学与科研工作。E-mail: kss@tzc.edu.cn。

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y504256); 浙江省新苗人才计划资助项目(2007R40G2170047)。

收稿日期: 2008-12-18

1 mm 尼龙筛, 贮瓶用于矿质含量分析。

1.2.3 矿质元素含量测定 称叶片粉碎样品 0.2 g 于消化管中, 加 5 mL 浓硝酸过夜, 置于控温式远红外消煮炉中(LWY84B, 四平电子技术研究所), 90℃ 30 min, 140℃ 30 min, 180℃ 30 min, 稍冷却, 加 1 mL 高氯酸, 180℃ 120 min, 冷却后定容至 50 mL, 2 层滤纸过滤, 电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES, Optima 2100 DV, Perkin Elemer, USA)测定 Cd、K、Mg 和 Fe 含量。

1.3 数据分析

用 DPS 软件对数据进行方差分析(ANOVA), $P<0.05$ 表示处理间差异显著。数据均为 3 个重复的平均

值±标准误。

2 结果与分析

2.1 镉处理对紫茉莉植株生长的影响

低于 100 mg/kg 镉处理没对紫茉莉产生形态上可见的明显毒害作用(如萎黄症和枯死等), 植株生长较为正常, 但 200 mg/kg 镉处理使紫茉莉基部叶片发黄并脱落。从表 1 看出, 土壤中镉处理浓度低于 25 mg/kg 时, 紫茉莉叶片、茎、根和整株干重变化不大, 但随着镉处理浓度的继续增加, 植株各器官干重明显降低, 而地上部分(叶片+茎)干重与地下部分(根系)干重比值基本不变。

表 1 镉处理下紫茉莉植株干重

植物器官	CK	1	5	10	25	50	100	200
叶片	0.31±0.02	0.29±0.03	0.30±0.03	0.34±0.02	0.26*±0.03	0.27*±0.02	0.22*±0.02	0.18*±0.02
茎	0.14±0.01	0.16±0.01	0.15±0.02	0.14±0.02	0.12±0.01	0.11*±0.01	0.11*±0.01	0.09*±0.01
根系	0.50±0.04	0.47±0.05	0.45±0.03	0.44±0.04	0.38*±0.04	0.35*±0.03	0.34*±0.03	0.29*±0.02
整株	0.95±0.05	0.92±0.06	0.90±0.05	0.92±0.07	0.76*±0.06	0.73*±0.05	0.67*±0.07	0.56*±0.06

注: 表中 *表示镉处理与对照间差异显著($P<0.05$), 以下同。

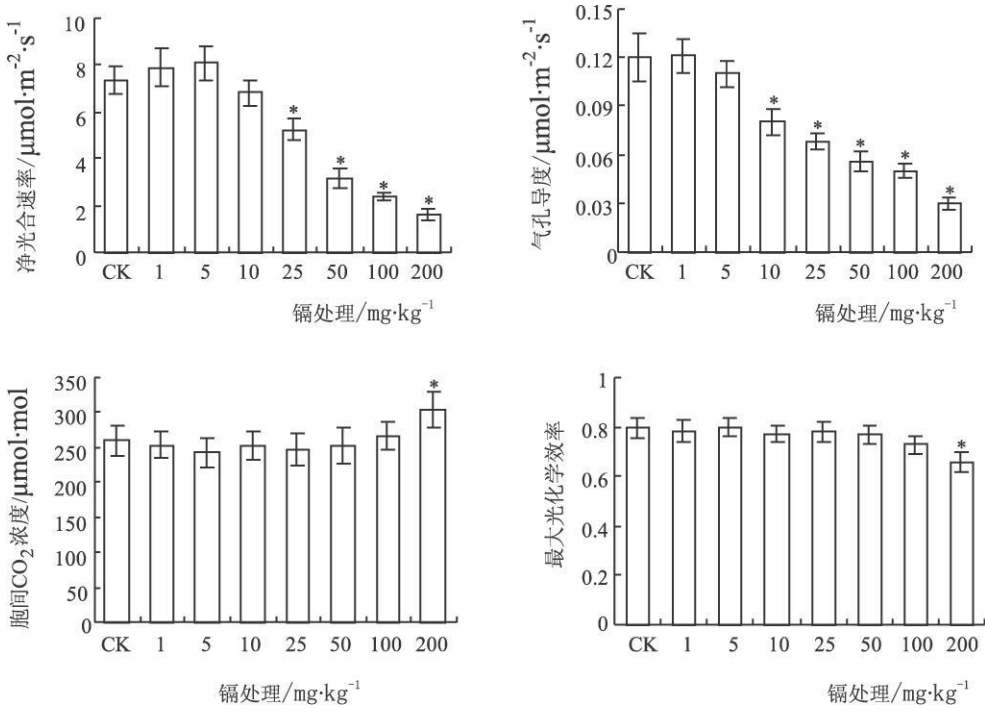


图 1 镉处理下紫茉莉叶片光合参数

2.2 镉处理对紫茉莉叶片光合参数的影响

从图 1 看出, 与对照相比, 低于 100 mg/kg 镉处理下最大光化学效率下降不明显, 但在 200 mg/kg 镉处理下明显降低。25~200 mg/kg 镉处理明显降低了净光合速率, 气孔导度表现出与净光合速率相似的变化趋势。低于 100 mg/kg 镉处理下胞间 CO₂ 浓度与对照相比变化不大, 但在 200 mg/kg 镉处理下则明显升高。

2.3 镉处理对紫茉莉叶片矿质含量的影响

镉处理下, 紫茉莉叶片镉含量急剧升高(图 2), 在镉处理浓度为 100 mg/kg 条件下, 叶片镉含量为 90.08 mg/kg, 接近镉超积累植物应达到的临界含量标准 100 mg/kg^[7]。高于 25 mg/kg 镉处理显著降低了紫茉莉叶片钾、镁和铁的含量(图 2)。

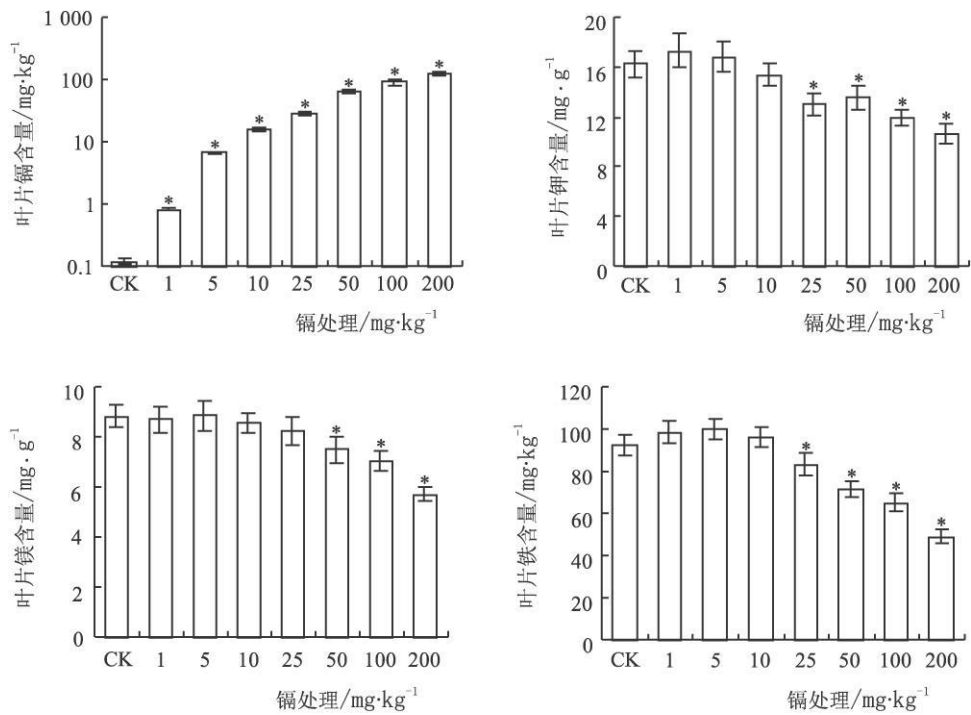


图2 镉处理下紫茉莉叶片矿质元素含量

3 小结与讨论

镉是植物非必需元素,对植物的生长和发育有着很高的毒性。土壤中的镉易被植物根系吸收并转运到植物的不同部位^[8],引起叶片失绿^[9],降低光合速率^[10],减弱质膜的ATP酶活性^[11],增强活性氧的形成而改变膜脂组分,并降低抗氧化能力^[12],造成植物生长受阻和严重减产。一般植物很少能在镉含量超过15 mg/kg的土壤中生长^[13],但紫茉莉在10 mg/kg镉处理下生长几乎不受影响,在25~100 mg/kg镉处理下生物量虽显著降低但没表现出明显的镉毒害症状,在200 mg/kg镉处理下还能存活,表明紫茉莉对镉毒有很强的耐受性。

该试验所测的紫茉莉光合参数中,净光合速率受镉的影响最明显。25 mg/kg以上镉处理下紫茉莉净光合速率急剧降低,同时气孔导度的降低幅度也较大。低气孔导度可能引起叶绿体中CO₂浓度降低,导致原料不足使光合减弱,但镉处理下紫茉莉净光合速率的明显降低并非由此造成,因为胞间CO₂浓度甚至比对照还高。综上所述,镉处理下紫茉莉净光合速率的急剧降低不是重金属引起的叶片气孔关闭所致。镉处理黄瓜(*Cucumis sativus* L.)也得到上述类似结果^[14]。100 mg/kg以下镉处理对紫茉莉最大光化学效率(F_v/F_m)的影响不明显,200 mg/kg镉处理的影响虽然达到显著水平,但相对较小。按照Björkman等^[15]的观点,不同条件下如果 F_v/F_m 仍大于0.8,光系统II的光化学效率就可被认为基本上

没有受到影响。该试验结果表明,紫茉莉光合作用电子传递对镉毒的耐性高于CO₂同化对镉毒的耐性,光合作用的碳还原和随后进行的暗反应比光反应对重金属的毒性更敏感。

土壤中过量镉(大于25 mg/kg)降低了紫茉莉叶片Fe、K、Mg的含量。低铁影响叶绿素的合成和叶绿体的结构,进而减弱光合作用强度^[16]。钾是植物组织中最丰富的阳离子,它在维持液泡的渗透势和细胞膨压中起着重要作用,为叶片扩展所必需,叶片细胞的伸长与钾含量有密切的关系^[17]。镉处理导致紫茉莉叶片钾含量下降引起细胞渗透势降低,进而减少了细胞的伸长,使叶片扩展受阻。菜豆(*Phaseolus vulgaris*)在镁缺乏时其同化物在叶片中积累,导致光合速率因反馈抑制而降低^[18],此外,镁在RuBP羧化酶的活性调节中起着关键作用^[19]。镉处理使紫茉莉叶片镁含量降低,可能导致光合产物在叶片中积累并降低光合速率,向茎和根输出的同化物减少。

参考文献

[1] Hassan M J, Shafi M, Zhang G, et al. The growth and some physiological responses of rice to Cd toxicity as affected by nitrogen form[J]. Plant Growth Regul 2008, 54: 125-132.
[2] Sandalio L M, Dalruzo H C, Gomez M, et al. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants[J]. Journal of Experimental Botany, 2001, 52: 2115-2126.
[3] Wu F B, Zhang G P. Genotype variation in kernel heavy metal concentrations in barley and as affected by soil factors[J]. Journal of Plant Nutri-

tion, 2002, 25, 1163-1173.

- [4] 孙瑞莲,周启星,王新. 镉超积累植物龙葵叶片中镉的积累与有机酸含量的关系[J]. 环境科学, 2006, 27(4):765-769.
- [5] 周启星,刘家女. 一种利用紫茉莉花卉植物修复重金属污染土壤的方法[P]. 中国专利: 200610046244.9.
- [6] 吴双桃. 紫茉莉修复镉污染土壤的研究[J]. 污染防治技术, 2006, 19(4): 17-18.
- [7] 魏树和,周启星,王新. 一种新发现的镉超积累植物龙葵(*Solanum nigrum* L.)[J]. 科学通报, 2004, 49(24):2568-2573.
- [8] Benavides M P, Gallego S M, Tomaro M L. Cadmium toxicity in plants[J]. Brazilian Journal of Plant Physiology, 2005, 17:49-55.
- [9] Ghani A, Wahid A. Varietal difference for cadmium-induced seedling mortality and foliar-toxicity symptoms in mungbean (*Vigna radiata*)[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2007, 9:555-558.
- [10] Balakhnina T, Kosobryukhov A, Ivanov A, et al. The effect of cadmium on CO₂ exchange, variable fluorescence of chlorophyll, and the level of antioxidant enzymes in pea leaves[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2005, 52:15-20.
- [11] Astolfi S, Zuchi S, Passera C. Effect of cadmium on H⁺-ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from roots of different S-supplied maize (*Zeamays* L.) plants[J]. Plant Science, 2005, 169: 361-368.

- [12] Gomes-Junior R A, Moldes C A, Delite F S, et al. Antioxidant metabolism of coffee cell suspension cultures in response to cadmium[J]. Chemosphere, 2006, 65: 1330-1337.
- [13] Wahid A, Ghani A. Varietal differences in mungbean (*Vigna radiata*) for growth, yield, toxicity symptoms and cadmium accumulation[J]. Annals of Applied Biology, 2008, 152: 59-69.
- [14] Burzyński M, Zurek A. Effects of copper and cadmium on photosynthesis in cucumber cotyledons[J]. Photosynthetica, 2007, 45: 239-244.
- [15] Björkman O, Demmig B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins[J]. Planta, 1987, 170: 489-504.
- [16] Siedlecka A, Krupa Z. Cd/Fe interaction in higher plants its consequences for the photosynthetic apparatus[J]. Photosynthetica, 1999, 36: 321-331.
- [17] 郭英,孙学振,宋宪亮,等. 钾营养对棉花苗期生长和叶片生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 363-368.
- [18] Fischer E S, Bremer E. Influence of magnesium deficiency on rates of leaf expansion, starch and sucrose accumulation, and net assimilation in *Phaseolus vulgaris*[J]. Physiologia Plantarum, 1993, 89:271-276.
- [19] 刘厚诚,陈细明,陈日远,等. 缺镁对菜薹光合作用特性的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(2): 311-316.

Effects of Cadmium Stress on the Photosynthetic Characteristics and Uptake of Mineral Elements in *Mirabilis jalapa*

CHEN Hong-hui, KE Shi-sheng, MA Bi-li, ZHONG Yong-jun, ZHOU He-he
(School of Life Science, Taizhou University, Linhai, Zhejiang 317000, China)

Abstract: *Mirabilis jalapa* seedlings were subjected to different cadmium (Cd) levels in soils for twenty days. The parameters of growth, photosynthesis and mineral elements contents were investigated. *Mirabilis jalapa* plants exhibited a higher Cd-enrichment capacity and stronger Cd-tolerance, however the growth were restrained by excess Cd (> 25 mg/kg). Net photosynthetic rate (P_n) and stomatal conductance (G_s) in the leaves of *Mirabilis jalapa* seedlings treated with 25~200 mg Cd/kg were similarly reduced. None of the investigated Cd levels decreased internal CO₂ concentration (C_i). The effect of Cd on the photochemistry efficiency (F_v/F_m) of photosystem II was negligible but 200 mg/kg Cd treatment. Moreover, decreased in contents of mineral elements including Fe, K and Mg were observed in the leaves of Cd-treated plants.

Key words: *Mirabilis jalapa*; Growth; Photosynthetic characteristics; Mineral element; Cadmium stress

喝蜂蜜防春季花粉过敏

春天,百花盛开,姹紫嫣红,百鸟齐鸣,常使人心旷神怡,不思入室。可是,很多人却无心欣赏这大自然的美丽景色,因为他们对这美妙春光里的春花的花粉容易产生过敏。

医生介绍说,春季花粉过敏不可怕,只要每天喝一勺蜂蜜就可以有效避免花粉过敏,同时对气喘、瘙痒、咳嗽以及干眼等过敏症状也有良好的预防作用。这是因为:

- 1 蜂蜜里面含有一定量的花粉颗粒,经常喝会对花粉过敏产生抵抗能力,从而可以有效的避免花粉过敏症的发生。
- 2 蜂蜜中还含有一种叫做蜂毒的微量物质,蜂毒是蜜蜂体内的一种有毒液体,在临床上常被用于治疗支气管哮喘等过敏性疾病。所以,常喝蜂蜜可以有效预防花粉过敏现象。