

根相对伸长率不能反映大白菜对镉的耐性差异^①

刘志华^{1,3}, 伊晓赞^{1,3}, 王火焰¹, 高豫汝², 沈仁芳^{1*}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 (中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;
2 南京市雨花台区农林局, 南京 210012; 3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 以 14 种大白菜为材料, 研究根的相对伸长率与蔬菜地上部 Cd 耐性之间的关系。结果表明, 种子根的相对伸长率与大白菜苗期的 Cd 耐性没有相关性, 因而用种子根相对伸长率不能衡量大白菜对 Cd 的耐性。大白菜地上部 Cd 含量与 Cd 耐性指数呈负相关, 表明 Cd 耐性强的大白菜地上部 Cd 的累积量相对较低。

关键词: 根相对伸长率; 大白菜; 镉; 耐性
中图分类号: Q945; S154

人们研究植物对 Cd 的耐性时发现, 不同植物对 Cd 的耐性不同, 即使是相同种类不同品种间也存在差异^[1], 如蔬菜对 Cd 的富集能力为叶菜类>茎菜类>果实类^[2-3]。前人研究植物对重金属的耐性差异时, 多以地上部干重作为衡量指标, 即重金属胁迫下植物的地上部干物重与对照相比降低得越少, 就越有耐性。种子根的相对伸长率是衡量植物耐 Al 性强弱的重要指标, 研究表明水稻田间产量与受 Al 胁迫时根的相对伸长率有很好的相关性^[4]。这种方法具有试验周期短、消耗小等优点, 目前已经成为筛选植物对 Al 的耐性强弱的指标。那么, 种子根的相对伸长率是否能够代表植物对 Cd 的耐性强弱, 目前这方面的研究很少。季丽英等^[5]研究认为根长变化比苗高变化更能体现重金属的毒性, 王兴明等^[6]研究发现 Cd 主要通过抑制根的生长达到对幼苗生长的抑制, 但单一的相对根伸长率与苗期的重金属耐性是否有某种联系尚无报道。本试验选用 14 种不同的大白菜品种, 研究根的相对伸长率与蔬菜地上部 Cd 耐性之间的关系, 阐明根相对伸长率能否成为筛选植物对 Cd 耐性的指标。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用 14 个大白菜品种, 编号为 1~14 号, 具体如表 1; 营养液采用常用的 Hoagland-Arnon 配方; 处理所用 Cd 试剂为分析纯氯化镉 (CdCl₂·2.5H₂O)。

表 1 试验中所用的大白菜品种名称及编号

Table 1 Names of the Chinese cabbage cultivars used in the experiment and their codes

编号	品种名称	编号	品种名称
1	601 四季大白菜	8	龙协白 4 号
2	602 大白菜	9	龙协白 5 号
3	603 大白菜	10	新鲁白 9 号
4	9811 大白菜	11	抗病牛心王
5	9812 大白菜	12	昌金菜王
6	98-6 大白菜	13	抗软腐 146 大白菜
7	龙园 67	14	鑫昌 1 号

1.2 试验方法

1.2.1 催芽 选择饱满一致的大白菜种子, 用 1% NaClO 消毒 30 min, 然后用蒸馏水清洗干净后浸泡 3 h, 放在 25℃恒稳培养箱中避光催芽 2 天。

1.2.2 种子根长试验 选用发芽一致的种子, 用塑料浮板支撑, 放在 0.5 mmol/L CaCl₂ 溶液中避光培养 2 天, 根长约 3 cm (第 5 天) 时开始处理, 对照为不加 Cd 的 0.5 mmol/L CaCl₂ 溶液, 处理为加 5 μmol/L CdCl₂ 的 0.5 mmol/L CaCl₂ 溶液。用尺子量取处理 24 h 前后的主根长。各重复 10 次。

1.2.3 土培幼苗试验 在中科院南京土壤研究所温室进行, 试验过程中温室温度大约为 30℃/20℃ (白天/黑夜)。

①基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAD05B08) 和中科院创新团队国际合作伙伴计划项目 (CXTD-Z2005-4) 资助。

* 通讯作者 (rfshen@issas.ac.cn)

作者简介: 刘志华 (1979—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士研究生, 主要从事植物逆境营养生理研究。E-mail: zhihua79@126.com

试验用土取自南京市雨花台区蔬菜种植区，未受 Cd 污染，取 0~20 cm 表层土，自然风干，过 2 mm 筛备用。部分土壤化学性质如表 2 所示，土壤全 Cd 含量 0.09 mg/kg。土壤最大含水量为 40%，试验设 2 个处理，分别是 0 mg/kg 和 40 mg/kg 的 Cd，以 CdCl₂ 的水溶液的形式施入到土壤中，充分混匀，同时使土壤的含水量达最大持水量的 60%，避光在室温下平衡 2 周后备用。发芽一致的种子用医用镊子播至装有备用湿土的小盆中，每盆 15 株，每盆装有备用的湿土 400 g，长至两叶一心时定苗，每盆 5 株，生长过程中定量浇水，六叶一心时收获。植株 105℃ 杀青 30 min，75℃ 烘干至恒重，备用。

表 2 土培试验土壤的基本化学性质

Table 2 Basic chemical properties of the surface (0~20 cm) garden soil

土壤 pH ^{a)}	有机质 (g/kg)	速效 N (N mg/kg)	速效 P (P mg/kg)	速效 K (K mg/kg)
5.1	14.9	49.9	137.6	40.5

a) 以土水比 1:2.5 测定。

1.3 分析项目及方法

大白菜地上部 Cd 含量的测定：将大白菜叶片用玻璃研钵磨成粉末，用浓硝酸与高氯酸（硝酸:高氯酸 = 5:1）湿法消解，用 ICP 测定样品 Cd 含量。

1.4 数据处理及计算方法

根的相对伸长率参照 Howeler 和 Cadavid^[4]的方法，耐性指数参照 Metwally 等^[7]的方法，具体计算方法如下：

$$\text{根相对伸长率(\%)} = \frac{\text{Cd 处理 24 h 后根长} - \text{24 h 前根长}}{\text{未加 Cd 处理 24 h 后根长} - \text{24 h 前根长}} \times 100$$

$$\text{耐性指数(\%)} = \frac{\text{处理生物量}}{\text{对照生物量}} \times 100 - 100$$

数据处理用 Excel 和 SPSS13.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 Cd 处理 24 h 后种子根的相对根长变化

Cd 处理 24 h 后大白菜的相对根长变化如图 1 所示。在 Cd 胁迫下，多数品种根的生长不同程度地受到抑制，抑制率在 10.5%~59.5% 之间，1 号和 11 号品种根的相对伸长在 Cd 存在下比 CK 增加了 7.8% 和 12.1%，在所选的 14 个品种中表现出较高的相对伸长率；而 2 号和 6 号品种的相对根长在 Cd 存在下比 CK 降低了 57.5% 和 59.5%，根的生长受到了显著的抑制。不同品种间根的相对伸长存在显著差异，其中，1 号

和 11 号品种显著高于其他品种，6 号品种显著低于除 2 号、3 号和 12 号外的其他品种，根相对伸长率仅为 41%，说明品种间根长在受到 Cd 胁迫时表现是不一样的，但是否与耐 Cd 性有关，值得进一步研究。

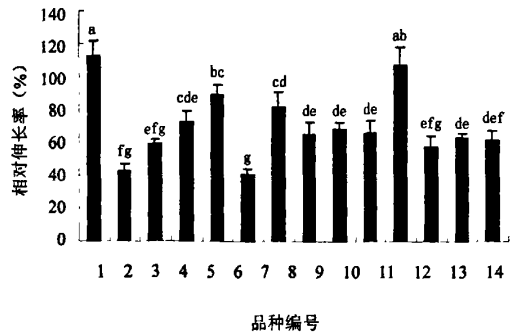


图 1 Cd 处理 24 h 后大白菜的相对根长变化

Fig. 1 Relative root elongation of Chinese cabbage after 24 h Cd treatment

2.2 大白菜苗期 Cd 处理的生物量及耐性差异

Cd 处理下的生物量大小是植物对重金属耐性大小的直接表现。不同品种大白菜地上部的生物量如图 2 所示。在添加 40 mg/kg Cd 的污染土壤上种植时，大白菜还能达到一定的产量，说明大白菜对重金属 Cd 的耐性较高，有研究发现芸苔属蔬菜对重金属的耐性较高^[8]，有些品种还是重金属的超积累植物^[9-10]，本试验的结果更加证明了这一点。从图 2 中可以看出，在未加 Cd 的土壤上种植时，所选品种的地上部干物重在 0.3~0.6 g/盆之间，其中 1 号品种的干物重最小，2 号品种的干物重最大，但与 6 号和 14 号品种没有显著差异；在添加 40 mg/kg Cd 的土壤上种植时，大部分品种的干物重都出现不同程度的下降（10 号、12 号和

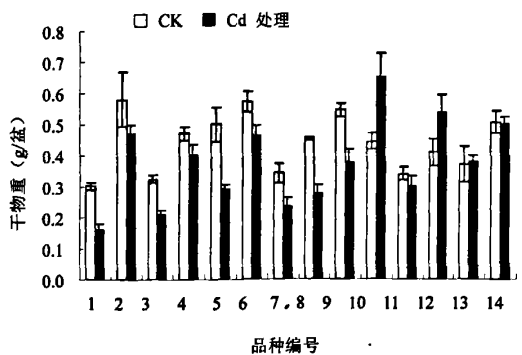


图 2 不同品种大白菜地上部干物重

Fig. 2 Dry weight of shoots of different Chinese cabbage cultivars

13 号品种除外), 下降率在 2%~48% 之间, 说明 Cd 对大白菜的生长有抑制作用, 1 号品种的干物重最小, 10 号品种的干物重最大, 12 号、14 号的干物重次之, 说明不同品种大白菜地上部干物重存在的差异与品种自身的基因也有关。

单一的地上部生物量不能很好表征品种对重金属的耐性高低, 因此, 我们根据地上部的生物量计算出了品种的 Cd 耐性指数 (图 3), 用它来衡量大白菜对 Cd 的耐性。从图 3 中可以看出, 与各自的 CK 相比, 多数品种的耐性指数都为负值, 耐性指数在 -2%~-47% 之间, 说明重金属 Cd 抑制了大白菜的生长; 只有 10 号、12 号和 13 号表现出对 Cd 的抗性, 耐性指数分别为 46.2%、31.5% 和 3.3%, 说明不同品种在重金属 Cd 的耐性上存在显著差异。杨居荣^[11]也发现不同水稻品种的重金属耐性存在差异, 虽然可以利用添加物来缓解 Cd 对作物的毒害^[12], 但利用品种的遗传特性来进行筛选高耐性的品种, 不失为更有效的途径。

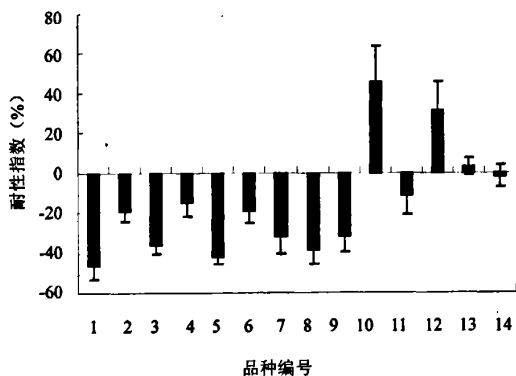


图 3 不同品种大白菜对 Cd 的耐性指数

Fig. 3 Cd tolerance index in Chinese cabbage cultivars

2.3 大白菜地上部 Cd 含量的差异比较

根据品种地上部的大小计算出的品种耐性指数阐明了该品种的重金属耐性强弱, 那么, 在污染的土壤上种植时, 该品种对重金属的积累情况如何? 我们测定了不同品种大白菜的地上部 Cd 含量, 如图 4。从图 4 中可以看出, 不同品种大白菜地上部 Cd 含量存在显著差异, 所选品种地上部 Cd 含量在 39~190 mg/kg 之间, 其中 10 号品种地上部 Cd 含量最小, 7 号品种地上部 Cd 含量最大, 前者仅为后者的 20%, 但生物量上来看前者是后者的 3 倍 (图 2)。

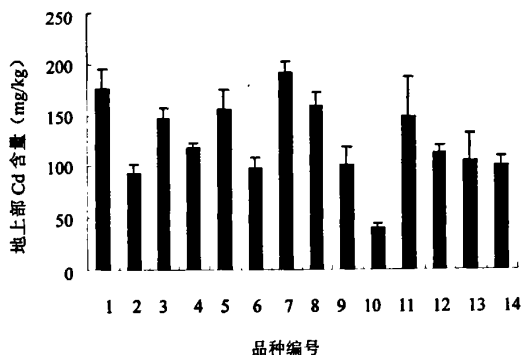


图 4 不同品种大白菜的地上部 Cd 含量

Fig. 4 Cd contents in shoots of Chinese cabbage cultivars

2.4 地上部 Cd 含量与耐性指数的相关分析

地上部 Cd 含量与耐性指数的相关分析如图 5 所示。可以看出, 二者呈显著的负相关关系, $r = -0.74^*$, 说明品种的耐性指数越大, 即相对于自身 CK 的生物量越大, 该品种地上部的 Cd 含量越小, 也就是说, 大白菜有可能靠自身的生物量增加来抵抗重金属造成的伤害。

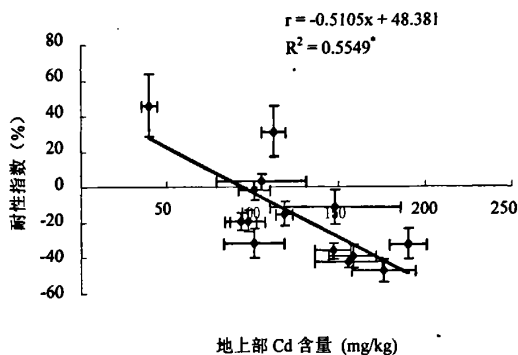


图 5 地上部 Cd 含量与耐性指数的关系

Fig. 5 Relationship between Cd contents in shoots and tolerance index

2.5 根相对伸长率与耐性指数的相关分析

根相对伸长率与耐性指数的相关分析如图 6 所示。从图 6 中可以看出, 根相对伸长率与大白菜苗期 Cd 耐性没有显著关系, 说明根相对伸长的品种间差异不能代表大白菜的重金属耐性差异。

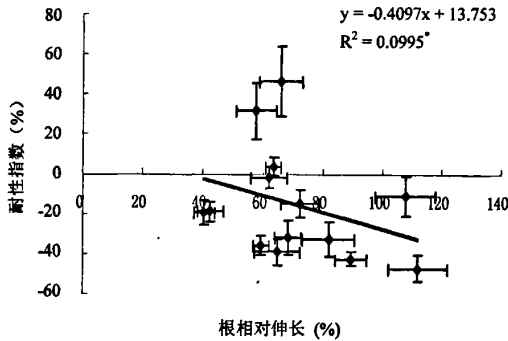


图6 根的相对伸长率与耐性指数的关系

Fig. 6 Relationship between relative root elongation and tolerance index

3 结论

种子根的相对伸长率与大白菜苗期的 Cd 耐性没有相关性, 因而用种子根相对生长率不能衡量大白菜对 Cd 的耐性。大白菜地上部 Cd 含量与 Cd 耐性指数呈负相关, 表明 Cd 耐性强的大白菜地上部 Cd 的累积量相对较低。

参考文献:

- [1] Qadir S, Qureshi MI, Javed S, Abidin MZ. Genotypic variation in phytoremediation potential of *Brassica juncea* cultivars exposed to Cd stress. *Plant Science*, 2004, 167:1171-1181
- [2] 陈玉成, 赵中金, 孙彭寿, 周虹, 欧阳东, 陈宏, 张秀, 殷捷. 重庆市土壤-蔬菜系统中重金属的分布特征及其化学调控研究.

- 农业环境科学学报, 2003, 2 (1): 44-47
- [3] 薛艳, 沈振国, 周东美. 蔬菜对土壤重金属吸收的差异与机理. *土壤*, 2005, 37 (1): 32-36
- [4] Howeler RH, Cadavid LF. Screening of rice cultivars for tolerance to Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. *Agronomy Journal*, 1976, 68: 551-555
- [5] 季丽英, 肖听, 冯启言. 铅 (Pb) 和镉 (Cd) 对油菜幼苗的影响. *现代农业科技*, 2006, 5: 48-49
- [6] 王兴明, 李晶, 涂俊芳, 黄永杰, 刘登义. Cd 对油菜种子发芽与幼苗生长的生态毒性. *土壤通报*, 2006, 37 (6): 1218-1223
- [7] Metwally A, Safronova VI, Belimov AA, Dietz KJ. Genotypic variation of the response to cadmium toxicity in *Pisum sativum* L. *Journal of Experimental Botany*, 2005, 56(409): 167-178
- [8] Broadley M, Willey MJ, Wilkins JC, Baker AJM, Mead A, White PJ. Phylogenetic variation in heavy metal accumulation in angiosperms. *New Phytologist*, 2001, 152(1): 9-27
- [9] Sanità di Toppi L, Gabbriellini R. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 1999, 41(2): 105-130
- [10] 蒋先军, 骆永明, 赵其国. 重金属污染土壤的植物修复研究 III. 金属富集植物 *Brassica juncea* 对锌、镉的吸收和积累. *土壤学报*, 2002, 39(5): 664-670
- [11] 杨居荣, 贺建群, 黄翌, 蒋婉茹. 农作物 Cd 耐性的种内和种间差异 II. 种内差. *应用生态学报*, 1995, 6 (增刊): 132-136
- [12] Chen XT, Wang G, Liang ZC. Effect of amendments on growth and element uptake of pakchoi in a cadmium, zinc and lead contaminated soil. *Pedosphere*, 2002, 12(3): 243-250

Relative Root Elongation Cannot Represent the Cd Tolerance of Chinese Cabbage

LIU Zhi-hua^{1,3}, YI Xiao-yun^{1,3}, WANG Huo-yan¹, Gao Yu-ru², SHEN Ren-fang¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Yuhuatai District Bureau of Agriculture and Forestry, Nanjing 210012, China;

3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Fourteen Chinese cabbage cultivars were employed to study the relationship between relative root elongation under Cd stress and their tolerance to Cd. The results indicated that relative root elongation had no correlation with the Cd tolerance index of Chinese cabbage at seedling stage. The relative root elongation couldn't represent their Cd tolerance. The Cd content in shoots had a negative correlation with the tolerance index, which suggested that Chinese cabbage with higher tolerance to Cd had lower Cd content in shoot.

Key words: Relative root elongation, Chinese cabbage, Cd, Tolerance