

镉胁迫对蔬菜生长影响及蔬菜抗镉育种研究进展

孔维萍, 程 鸿

(甘肃省农业科学院 蔬菜研究所, 农业部园艺作物生物学与种质创制西北地区科学观测实验站, 甘肃 兰州 730070)

摘 要:由于人类活动造成的蔬菜种植地区水体和土壤的 Cd 污染, 必定会使蔬菜体内 Cd 残留量提升, 而微量 Cd 通过食物链进入人体后积累到一定浓度, 就会对人体产生一系列损伤。该文从 Cd 对蔬菜生长的影响、蔬菜抗/耐 Cd 等研究进行总结的基础上, 对蔬菜 Cd 污染防治的研究进展进行了阐述, 并对该领域今后工作的重点进行了展望, 以期今后更深入研究提供基础依据。

关键词:镉; 胁迫; 耐性; 植物修复

中图分类号:S 63 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)23-0190-04

镉(Cd)是一种毒性很强的重金属, 且属于蓄积性毒物。由于人类活动造成的蔬菜种植地区水体和土壤的 Cd 污染, 必定会使蔬菜体内 Cd 残留量提升, 而微量 Cd 通过食物链进入人体后积累到一定浓度, 就会对人体产生一系列损伤。我国对蔬菜中 Cd 含量有明确规定, 根菜类限量 0.1 mg/kg, 叶菜类限量 0.2 mg/kg, 其它蔬菜限量 0.05 mg/kg。相对一些禾本科作物, 蔬菜对 Cd 更敏感^[1], 在相同浓度 Cd²⁺ 胁迫下受毒害症状明显。Cd 对蔬菜生长的影响及抗/耐 Cd 研究引起了人们的关注^[2-3]。有关植物对重金属 Cd 的吸收、运输及耐性机理等一系列问题的研究, 已取得了一定进展^[4], 但对蔬菜抗 Cd 育种方面的研究还处于起步阶段。该文主要从 Cd 对蔬菜生长的影响、蔬菜抗/耐 Cd 等方面研究进行总结的基础上, 对蔬菜 Cd 污染防治的研究进展进行了阐述, 并对该领域今后工作的重点进行了展望, 以期今后更深入研究提供基础依据。

1 Cd 对蔬菜生长及生理生化指标的影响

1.1 Cd 对蔬菜形态及生物产量的影响

当 Cd²⁺ 在植物体内积累到一定浓度时, 植物就会普遍表现出根系短小变褐、侧根少、茎生长缓慢、叶片变黄、卷曲以及斑点, 植株矮小、退绿、产量下降等不良症状^[5]。丁海东等^[6]对不同浓度 Cd²⁺ 胁迫下番茄幼苗生长变化进行研究发现, 随 Cd²⁺ 浓度增大, 番茄幼苗生长受到抑制, 生物学产量积累明显下降。孙光闻等^[7]的研

究表明, 10 mg/L 的 Cd²⁺ 使得不同品种的白菜生物产量明显下降, 叶片失绿。芥菜在 Cd 胁迫下植株生长缓慢、个体小、生物量少, 叶色发黄, 严重时植株脱水死亡, 青菜也有类似表现^[8]。但是一些 Cd 富集蔬菜在低浓度 Cd²⁺ 胁迫下却表现出根系发达, 生长旺盛, 总体生物学产量提高等特性。当 Cd²⁺ 浓度超过其耐性范围时, 产量同样呈下降趋势, 甚至死亡。

1.2 Cd 对蔬菜光合及蒸腾作用的影响

叶绿素能从光中吸收能量, 并将 CO₂ 转变为碳水化合物。叶绿素含量的变化必然影响植株的正常发育^[9]。而 Cd 会使植物叶绿素含量下降, 并对光合系统产生损伤^[10]。不同蔬菜品种叶绿素含量的变化相对同等浓度 Cd²⁺ 是有差异的。常鹏云等^[11]的研究中 6 种根菜类蔬菜在 Cd 处理后叶绿素含量总体呈下降趋势。王林等^[12]、姚晓惠^[13]研究得出 Cd 处理下植株体内叶绿素 a/b 总体随 Cd²⁺ 浓度升高而呈下降趋势。5 mg/kg 的 Cd²⁺ 胁迫下, 油菜的叶绿素含量达到最高值, 以后随 Cd²⁺ 浓度升高, 叶绿素含量逐渐降低^[14]。此外在 Cd 胁迫下, 植物叶绿体膜解体, 片层结构弥散, 叶绿体结构的改变使其光合作用减弱^[15]。Cd 还会对植物的蒸腾作用产生不利影响, 如抑制气孔开放, 极低浓度的 Cd²⁺ 就可以减少由光诱导的气孔开放, 使其电导率和 CO₂ 吸收量下降, 从而抑制光合作用和蒸腾作用^[16]。

1.3 Cd 对蔬菜抗氧化系统的影响

重金属 Cd 胁迫能使植株体内活性氧积累加剧^[17], 从而产生氧化伤害。不同蔬菜品种对同等浓度 Cd²⁺、同一蔬菜品种在不同浓度 Cd²⁺ 胁迫时, 其抗氧化酶活性变化存在明显差异。对敏感作物而言, Cd²⁺ 作用下其抗氧化酶活性大多下降, 而一些 Cd 富集作物其抗氧化酶活性保持原有水平甚至提高。赵首萍等^[18]

第一作者简介:孔维萍(1975-), 女, 硕士, 助理研究员, 现主要从事蔬菜育种与分子生物学等研究工作。E-mail:wpk33@126.com.

基金项目:甘肃省生物技术专项资助项目(GNSW-2012-13); 国家自然科学基金资助项目(31301795)。

收稿日期:2013-09-03

用 0~30 mg/L 的 Cd^{2+} 处理了 2 种基因型番茄,高积累型品种的过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等活性随 Cd^{2+} 浓度增加而显著增加,低 Cd 积累品种抗氧化酶活性降低;而超氧化物歧化酶(SOD)活性均先增加后降低。Cd 胁迫下萝卜幼苗的 SOD 活性随着 Cd^{2+} 浓度提高,起初明显上升,然后逐渐下降,甚至低于对照;叶片 CAT 活性明显增加,根系 CAT 活性则减少;根系以及较高浓度 Cd 处理后期叶片的谷胱甘肽还原酶(GR)活性均显著增加^[19-20]。总体而言,低浓度 Cd 胁迫下蔬菜体内抗氧化酶活性呈上升趋势,这是植株利用过氧化物酶等自身防御系统清除低浓度 Cd^{2+} 对其产生的损伤。但 Cd^{2+} 浓度达到或超过一定范围后活性氧清除酶的活性则呈下降趋势,甚至低于对照^[21]。

1.4 Cd 在蔬菜体内的积累特征

不同蔬菜品种、蔬菜的不同器官,Cd 的积累量存在明显差异。植株体内 Cd 的积累量大致表现为根>茎>叶>果实。阮美颖等^[22]研究了包括 Cd 在内 4 种重金属在南瓜中的积累差异,结果表明各器官重金属含量根>叶>茎>果。杨庆娥等^[23]在研究污水灌溉白菜的重金属积累特征时也得出相似的结论。其原因在于 Cd 主要是通过根系吸收,进而运输到茎、叶和果实中。所以 Cd 在蔬菜中的积累以根为首,茎、叶次之,而果实中的积累均较少。但相对一些用于植物修复的蔬菜来说其地上部分的 Cd^{2+} 含量明显高于根系^[24]。在 Cd^{2+} 含量为 100 mg/kg 的土壤中培养油菜,叶片中 Cd^{2+} 含量高于根部和茎部^[25]。李其林等^[26]对包括 Cd 在内的重金属在叶菜类和果菜类蔬菜中积累差异研究表明,叶菜类蔬菜的重金属积累明显高于果菜类。

2 抗 Cd 胁迫蔬菜育种研究进展

2.1 土壤改良及植物修复

除了土壤背景值,人类活动是造成 Cd 污染的主要因素。因此首先应从环境治理入手,尽可能的采取措施,减少污染源。另外,可以采用适当的物理和化学方法改变土壤结构、pH 值等,尽量减少蔬菜对 Cd 的吸收。但这种方法并没有减少土壤 Cd 残留量,而是将其固化,对土壤结构破坏严重,且技术要求和经济成本昂贵。

植物修复就是用超积累植物从土壤中吸取并积累超常水平的重金属,通过连续种植和刈割,以除去土壤中的重金属。目前作为植物修复蔬菜品种筛选的研究是一个热点问题。叶用红慕菜在土壤 Cd 含量 20 mg/kg 时地上部 Cd 含量超过了 100 mg/kg,且其自身生长并不受影响^[27]。王激清等^[28]的研究表明“中油杂 1 号”等油菜品种生物量大,土壤 Cd 修复能力比对照印度芥菜还要强。另外在土壤中添加微生物也可以促进油菜的生长并使土壤 Cd 的吸收率提升^[29];邱宇婷等^[30]认为白萝卜幼苗表现出较强的抗 Cd 胁迫能力,再加上其生长迅

速,生物量大,可作为 Cd 污染生物修复的候选植物。青菜有较强的耐 Cd 性和较高的 Cd 富集能力。芥菜能将大量的 Cd 富集于表皮毛中且生长迅速。但是用于土壤修复的蔬菜因其 Cd 残留量较大却不能再食用,否则会影响食用安全。可以选用其它生物量大且生长快的植物种类对 Cd 污染的蔬菜种植区进行生物修复。

2.2 筛选低 Cd 积累的蔬菜品种

重金属对蔬菜生长的影响因蔬菜种类、元素种类和浓度的不同而有很大差异。杜应琼等^[31]用不同浓度重金属 Pb、Cd、Cr,对 5 种叶类蔬菜进行水培试验,结果显示蔬菜对各重金属的耐性较强,在各处理下生长较好,且对重金属有很强的吸收能力;而苋菜的生长量较低,且所吸收的 Cd 多富集在可食部位。李德明等^[32]选取具有代表性的 87 个白菜品种为试材,通过盆栽形式于春夏和秋冬生长季节进行植株地上部 Cd^{2+} 积累差异研究。结果表明,低 Cd 积累品种地上部 Cd^{2+} 含量均低于 6.25 mg/kg,而高 Cd 积累品种高于 23.72 mg/kg,高、低镉品种 Cd 残留差异是春夏季大于秋冬季。井彩巧^[33]研究也充分显示品种选择可以降低大白菜可食部分 Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 含量。赵首萍等^[18]也指出番茄、油菜等蔬菜品种在同等浓度 Cd^{2+} 处理下,其地上部分 Cd^{2+} 残留量存在明显差异。因此筛选 Cd 低积累品种对无公害蔬菜生产具有重要意义。但低积累蔬菜在 Cd 污染区其产量受到严重影响,不能满足生产需求。

2.3 应用基因工程技术改良蔬菜抗 Cd 水平

蔬菜抗/耐 Cd 基因工程主要分两部分,一是提高用于土壤修复的蔬菜吸收和耐 Cd 的能力,从而最大限度的减少土壤中 Cd 残留;二是尽可能减少蔬菜对 Cd 的吸收和可食部分 Cd 残留,而将 Cd 超量积累在非食用部分。目前从细菌、真菌、植物和动物中克隆了一些 Cd 抗性基因,对植物进行转化后使其对 Cd 抗性提高。如拟南芥 *AtNRAMP3* 基因的破坏可使其 Cd 抗性提高,而过量表达该基因则增加了对 Cd 的敏感性,说明 *AtNRAMP3* 与植物体中 Cd 的运输及其敏感性有关^[34]。而 *AtHMA4* 基因编码的蛋白可通过向胞外主动排出过量的重金属 Cd 来提高对 Cd 的耐受性^[35]。从遏蓝菜中分离出的 *TcHMA4*,与 *AtHMA4* 高度同源,参与 Cd 在木质部运输装载。在酵母中 *TgMTPlt1* 表达可以抗高浓度的 Cd。Varvara 等^[36]将细菌的 ACC(细菌脱氨基酶基因)转到番茄后,Cd 积累能力提高了 5 倍,叶片中 Cd^{2+} 浓度达到 35 mg/kg。大肠杆菌的谷氨酰半胱氨酸合成酶基因(*gsh I*)和谷胱甘肽合成酶基因(*gsh II*)融合体过量表达的印度芥菜转基因植株茎尖 Cd^{2+} 的浓度达到 25%,比对照高 2 倍。将酵母 *MT* 基因转入花椰菜中发现,转基因的花椰菜对 Cd 的耐性和积累性都要高于未转基因的植株^[20,37]。金属硫蛋白基因可以与 Cd 螯

合,增强植物对 Cd 的耐受性^[38]。另外可以用蛋白质工程对 Cd 积累和耐受相关蛋白进行改造,以促进 Cd 整合。对耐 Cd 蔬菜而言除了要提高其 Cd 耐性外,主要还是降低 Cd 在可食部位的积累。既达到修复的目的,又不会使其食用品质受到影响。这就要加大对一些与 Cd 转运相关基因的研究。而相关研究多集中在拟南芥等模式植物,在蔬菜中的研究鲜有报道。

3 问题与展望

受人类活动和自然因素的影响,环境 Cd 污染日趋严重,如何进行 Cd 污染治理是摆在我们面前的一大难题。传统的修复方法治标不治本,且技术要求和成本高。

目前,在重金属耐受途径和基因调控研究的基础上进一步选育重金属富集能力强、生长速度快、生物量大的植物是该技术的热点领域和难点问题。应充分利用我国丰富的植物资源加强超积累重金属植物的筛选,并将其应用于土壤修复。挖掘低 Cd 积累的种质资源,寻找低 Cd 积累过程的控制因子,应用基因工程技术减少 Cd 在蔬菜可食部位的积累是基因工程的难点和热点问题。目前虽然发现了一些与 Cd 耐受相关基因,但是其作用和调控机理不是很明确,还需要进一步研究。并且转基因研究多针对酵母菌、细菌等微生物类以及烟草和拟南芥等模式植物,在作物和蔬菜中的研究还相对较少。今后应加大这方面的研究,尽快使其应用于蔬菜和粮食生产中。

参考文献

- [1] 杨居荣,贺建群,黄翌.农作物 Cd 耐性的种内和种间差异[J].应用生态学报,1994,2(5):192-196.
- [2] 何江华,柳勇,王少毅,等.广州市郊区菜园主要蔬菜的重金属含量[J].园艺学报,2003,30(3):290.
- [3] 张金彪,黄淮南,柯玉琴.草莓对镉的吸收积累特性及调控研究[J].园艺学报,2003,30(5):514-518.
- [4] 宋瑜,金樑,曹宗英.植物对重金属镉的响应及其耐受机理[J].草业学报,2008,17(5):84-91.
- [5] Schutzenhubel A, Schwanz P, Teichmann T, et al. Cadmium-induced changes in anti-oxidative systems, hydrogen peroxide content and differentiation in Scots pine roots[J]. Plant Physiology, 2001, 127: 887-898.
- [6] 丁海东,万延慧,齐乃敏,等.镉和锌对番茄幼苗抗氧化酶活性的影响[J].仲恺农业技术学院学报,2004,17(2):37-41.
- [7] 孙光闻,朱祝军,方学智.不同镉水平对白菜生长及抗氧化酶活性的影响[J].园艺学报,2004,31(3):378-380.
- [8] 陆文妹.镉胁迫对青菜生长和抗氧化系统的影响[J].安徽农业科学,2011,39(5):2703-2705.
- [9] 汤惠华,杨涛,胡宏友,等.镉对花椰菜光合作用的影响及其在亚细胞中的分布[J].园艺学报,2008,35(9):1291-1296.
- [10] Suzuki N, Koizumi N, Sano H. Screening of cadmium responsive genes in *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Cell Environ, 2001(24):1177-1188.
- [11] 常鹏云,谢英荷,程红艳,等.镉对 6 种根菜类蔬菜生长状况及品质的影响研究[J].天津农业科学,2012,18(1):126-130.
- [12] 王林,史衍玺.镉、铅及其复合物污染对辣椒生理生化特性的影响[J].山东农业大学学报(自然科学版),2005,36(1):107-112.
- [13] 姚晓惠.重金属污染对黄瓜生理生化特性的影响[J].河南农业科学,2007(10):81-83.
- [14] 王兴明,涂俊芳,李晶,等.镉处理对油菜生长和抗氧化酶系统的影响[J].应用生态学报,2006(1):89-96.
- [15] 杨丹慧,许春辉,赵福洪.镉对芹菜叶绿体光合系统II的影响[J].植物学报,1989,31(9):702-706.
- [16] Perfus Barbeoch L, Leonhardt N, Vavasseur A, et al. Heavy metal toxicity: Cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status[J]. The Plant Journal, 2002, 32: 539-548.
- [17] 赵非伏,翟禄新,陈荃. Cd Pb 复合处理下对植物膜的伤害初探[J].兰州大学学报(自然科学版),2002,38(2):115-119.
- [18] 赵首萍,张永志,于国光,等. Cd 胁迫对 2 种基因型番茄幼苗活性氧清除系统的影响[J].中国农学通报,2011,27(19):166-171.
- [19] 汤春芳.镉胁迫和植物抗氧化系统、营养元素相互关系的研究以及多胺的调控作用[D].长沙:湖南大学,2005.
- [20] 仇硕,张敏,孙延东.植物重金属镉(Cd²⁺)吸收、运输、积累及耐性机理研究进展[J].西北植物学报,2006,26(12):2615-2622.
- [21] 陈世军,韦美玉.镉对辣椒幼苗生长与生理特性的影响[J].江苏农业科学,2009(4):180-182.
- [22] 阮美颖,徐明飞,张永志.南瓜对重金属 As、Pb、Cd、Hg 的吸收及其积累规律[J].浙江农业学报,2008,20(5):358-361.
- [23] 杨庆娥,任振江,高然,等.污水灌溉对土壤和蔬菜中重金属积累和分布影响研究[J].中国农村水利水电,2007(5):74-75.
- [24] 苏德纯,黄焕忠.油菜作为超积累植物修复镉污染土壤的潜力[J].中国环境科学,21302,22(1):48-51.
- [25] Carrier P, Baryl A, Havaux M. Cadmium distribution and microlocalization in oilseed rape (*Brassica napus*) after long-term growth on cadmium-contaminated soil[J]. Planta, 2003, 216(6):939-950.
- [26] 李其林,刘光德,黄昀,等.蔬菜中重金属特征研究[J].有机农业与食品科学,2004,20(3):40-44.
- [27] 李玉双,孙丽娜,孙铁珩,等.超富集植物叶用红苜蓿及其对 Cd 的富集特征[J].农业环境科学学报,2007,26(4):1386-1389.
- [28] 王激清,刘波,苏德纯.超积累镉油菜品种的筛选[J].河北农业大学学报,2003,26(1):13-16.
- [29] 贾莹,李博文,芦小军,等.接种微生物对油菜吸收 Cd 效果的影响研究[J].生态环境学报,2010,19(4):813-816.
- [30] 邱宇婷,蒋岚,朱毅,等.镉胁迫下萝卜幼苗的硫代葡萄糖苷含量变化研究[J].安徽农业科学,2012,40(6):3490-3493.
- [31] 杜应琼,何江华,陈俊坚.铅、镉和铬在叶类蔬菜中的累积及对其生长的影响[J].园艺学报,2003,30(1):51-55.
- [32] 李德明,朱祝军,钱琼秋.白菜镉积累基因型差异研究[J].园艺学报,2004,31(1):97-98.
- [33] 井彩巧.不同基因型大白菜镉和铅含量差异研究[J].园艺学报,2006,33(2):402-404.
- [34] Thomine S, Wang R, Ward J M. Cadmium and iron transport by members of a plant metal transporter family in *Arabidopsis* with homology to *Nramp* genes[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2000, 97: 4991-4996.
- [35] Papayan A, Kochian L V. Identification of *Thlaspi caerulescens* genes that may be involved in heavy metal hyperaccumulation and tolerance characterization of a novel heavy metal transporting ATPase[J]. Plant Physiology, 2004, 136(3):3814-3823.
- [36] Varvara P G, Filby B, Glick B R. Increased ability of transgenic plants expression the bacterial enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, Co, Cu, Ni, Pb and Zn[J]. J Biotech, 2000, 81: 45-53.

连作障碍调控技术研究进展

李贺勤^{1,2}, 李星月¹, 刘奇志¹, 张林林¹, 白鹏华¹, 白春启¹

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 青岛农业大学 农学与植物保护学院, 山东 青岛 266109)

摘要:连作障碍已成为制约农业可持续发展的关键因素。该文在阐述连作障碍发生原因的基础上总结了针对连作障碍调控的几种主要技术, 包括轮作与间作、清园与消毒、改土与施肥、施用有机物等, 指出了连作障碍调控技术研究中存在的主要问题, 展望了今后应进一步关注的热点问题。

关键词:连作障碍; 调控技术; 综合利用

中图分类号:S 344.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)23-0193-05

目前随着世界人口数量的增长和社会经济的发展, 耕地面积正逐渐减少, 特别是近年来设施农业的迅速发展, 导致连作障碍发生严重。许多粮食作物、经济作物、药用植物、园艺植物等都存在不同程度的连作障碍现象。因此连作障碍已成为制约农业可持续发展的关键因素。

1 连作障碍发生因素

有关连作障碍发生的因素一般有以下几方面: 一是

土壤理化性状劣变, 土壤养分不均衡; 二是土壤微生物群落结构发生变化, 某些寄生能力强的种群在根际土壤中占突出优势, 一些病原细菌和真菌等种群数量激增, 致使原有的根际微生态平衡被打破; 三是植物的化感作用, 植物分泌的化感物质在土壤中大量聚积, 对植物本身或微生物的生长发育产生影响; 四是植物寄生线虫的增多, 线虫吸收植物体内营养而影响植物正常的生长发育, 线虫代谢过程中的分泌物还会刺激寄主植物的细胞和组织, 导致植株畸形等, 从而使农产品减产和质量下降。因此, 如何对连作障碍进行调控是农业生产上急需解决的问题。现对目前比较适用的调控技术进行总结, 以期对农业生产上连作障碍的缓解和进一步研究提供参考。

第一作者简介:李贺勤(1981-), 女, 博士研究生, 研究方向为土壤连作障碍及其修复。E-mail: hqiaau@163.com.

责任作者:刘奇志(1959-), 女, 博士, 教授, 现主要从事土壤连作障碍及其修复等研究工作。

收稿日期:2013-07-31

[37] 张玉秀, 柴团耀. 植物耐重金属机理研究进展[J]. 植物学报, 1999, 41(5): 453-457.

[38] 孙新, 杨志敏, 徐朗莱. 镉诱导油菜叶片氧化胁迫及硫化物的络合作用[J]. 西北植物学报, 2003, 23(9): 1506-1511.

Research Advances on the Effect of Cadmium on Vegetables Growth and Vegetable Cadmium-Resistance Breeding

KONG Wei-ping, CHENG Hong

(Lanzhou Research Station of Horticultural Crop Biology and Germplasm Enhancement, Ministry of Agriculture, Institute of Vegetable, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract: Due to human activity, Cd pollution in water and soil in vegetable planting areas must improve the Cd residue in vegetable. Trace Cd accumulation into the human body through the food chain to a certain concentration, it will produce a series of injuries to the human body. From the impact of Cd on the growth of vegetables, vegetable resistant to Cd and other aspects, the research progress of vegetable Cd pollution prevention was described, and the focus of future research in this area in the future were prospected in order to provide a basis for the further research.

Key words: cadmium; stress; tolerance; phytoremediation