

锌铬复合胁迫对水稻植株碳氮代谢的影响^{*}

朱雪梅¹,林立金^{1,2},杨远祥¹,蒋小军¹,何传云³,邵继荣³

(1. 四川农业大学 资源环境学院,四川 雅安 625014;2. 雅安水土保持生态环境监测分站,四川 雅安 625000;
3. 四川农业大学 生命理学院,四川 雅安 625014)

摘 要:通过盆栽试验,研究了锌铬复合胁迫对水稻植株碳氮代谢的影响。结果表明,在锌铬复合胁迫下,随着土壤中锌、铬浓度的增加,水稻干物质积累量降低,根冠比及根系可溶性糖含量呈增加的趋势,而茎鞘及叶中可溶性糖含量呈降低的趋势;根系、茎鞘及叶中可溶性蛋白含量和全氮含量则呈高低起伏的变化。偏相关分析表明,土壤中锌、铬浓度与水稻根系、茎鞘及叶中可溶性糖含量,水稻根系可溶性蛋白含量均产生了 Zn-Cr 协同效应,而与全氮含量未产生复合效应。这说明在重金属胁迫下,水稻通过协调自身源流库的关系,提高其对逆境的生态适应能力。

关键词:锌铬复合胁迫;水稻;碳氮代谢

中图分类号:Q945.79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)05-0149-03

Effects of Compound Stresses of Zn and Cr on Carbon and Nitrogen Metabolisms of Rice Plant

ZHU Xue-mei¹, LIN Li-jin^{1,2}, YANG Yuan-xiang¹, JIANG Xiao-jun¹, HE Chuan-yun³, SHAO Ji-rong³

(1. College of Resource and Environment, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China; 2. Ya'an Soil and Water Conservation and Ecovironment Monitoring Station, Ya'an, Sichuan 625000, China; 3. College of Life Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

Abstract: The effects of compound stresses of Zn and Cr on carbon and nitrogen metabolisms of rice plant were investigated in a soil pot experiment at tillering stage. The results showed as follows: with increasing of concentrations of Zn and Cr, the biomass of rice plant had a trend to reduce, and the ratio of root/shoot and soluble carbohydrate content of rice roots had an increasing trend, but soluble carbohydrate content of stem and sheath and leave reduced, and soluble protein and total nitrogen contents of roots, stem and sheath and leave changed wavelly. Partial correlation analysis showed that concentrations of Zn and Cr in the soil had synergy effect on soluble carbohydrate content of roots, stem and sheath and leave, and soluble nitrogen content of roots. There was no compound effect on total nitrogen of rice plant. Those explained that rice plant adjusted the relationship between source and library to enhance its ability of ecological adaptation under the heavy metals stresses.

Key words: compound stresses of Zn and Cr; rice; carbon and nitrogen metabolisms

水稻(*Oryza sativa* L.)是我国的主要粮食作物之一。近年来,随着我国工农业的发展,农田土壤环境受到重金属污染。这些重金属污染主要来自工业“三废”的排放,城市生活污水和垃圾的污染以及含有重金属农药、化肥的不合理使用^[1-4]。在重金属胁迫下,植物体内的正常生理代谢受到影响,其生长受到抑制,生物量减少^[5-9],但这些研究大多局限于单一元素污染。在农田生态系统中,多种重金属之间存在协同、拮抗、屏蔽和独立作用^[10],使其对作物生理代谢的影响变得复杂。碳氮代谢是植物体内两大基本的代谢,为植物的生长发育提供物质和能量。研究表明,氮素在水稻营养生长阶段促进同化器官叶面积的扩大,在生殖生长阶段积累的氮素向穗部转运,合成贮藏蛋白^[11-12]。然而,有关重金属复合污染对水稻植株碳氮代谢的影响未见报道。为此,该文就锌铬复合胁迫对水稻植株碳氮代谢的影响进行研究,以期揭

示在锌铬复合胁迫条件下,水稻植株碳氮代谢的变化规律,进而为水稻的安全生产奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2006 年 4 - 9 月在四川农业大学新区农场进行,为 2 因素 4 水平试验, A 因素为不同浓度的锌: 0 (A0), 125 (A1), 250 (A2), 500 mg/kg (A3); B 因素为不同浓度的铬: 0 (B0), 100 (B1), 200 (B2), 400 mg/kg (B3)。采用 ZnCl₂ 和 CrCl₃ · H₂O 作为两种重金属复合胁迫处理,浓度根据《土壤环境质量标准-GB15618-1995》设计。用 25 cm × 20 cm 塑料桶装入过 6.72 mm (3 目) 筛的风干土 6.5 kg,同时每桶施入干鸡粪 100 g,尿素 2 g,过磷酸钙 4 g,硫酸钾 1 g,混匀,1 周

* 收稿日期:2007-06-05

基金项目:四川农业大学 2006 年校青年科技创新基金项目

作者简介:朱雪梅(1963 -),女,教授,主要从事农业生态学及污染生态学研究。E-mail: zhubroad@163.com

通信作者:邵继荣(1959 -),男,教授,理学博士,主要从事生生化、分子生物学及环境安全性研究。E-mail: shaojr007@163.com

后按风干土土重加入各处理浓度的重金属溶液,混匀,淹水两周后插秧,每桶 4 株,重复 3 次。其它栽培管理与常规生产相同。供试水稻品种为四川农业大学水稻所选育的中粳迟熟杂交稻组合品种 D 优多 1。供试土壤为紫色土,其重金属背景值:Zn 48.81 mg/kg,Cr 39.12 mg/kg。土壤重金属含量均按照参考文献[13]的方法测定。

1.2 测定内容与方法

于水稻分蘖期(第 3 次分蘖开始)对水稻植株进行取样,105 杀青 15 min,70 烘至恒重。按照参考文献[14]的方法测定水稻根系、茎鞘及叶中可溶性糖及可溶性蛋白含量,并用凯氏定氮法测定其全氮含量。

用 DPS 进行方差分析(LSD 法)和偏相关分析。

2 结果与分析

2.1 锌铬复合胁迫对水稻干物质积累的影响

从表 1 可以看出,锌铬复合胁迫对水稻的生长有抑制作用。从水稻干物质积累来看,随着重金属浓度的增大,水稻根干质量及地上部分干质量均呈下降趋势,且均以 A0B0(对照)最大,以 A3B3 最小。与根干质量及地上部分干质量的变化趋势相反,随着重金属浓度的增大,水稻根冠比均呈升高的趋势。在分蘖期,根冠比以 A3B3 最大,为 0.182。方差分析表明,锌、铬浓度间及锌铬浓度互作间水稻根干质量、地上部分干质量及根冠比的差异均达极显著水平($P<0.01$)。

2.2 锌铬复合胁迫对水稻植株可溶性糖含量的影响

分蘖期的水稻处于营养生长阶段,其同化物质主要来源于叶片,而茎鞘是同化物质的贮藏库。从表 2 可以看出,在锌铬复合胁迫下,水稻根系可溶性糖含量随锌铬浓度的增加而呈增大的趋势,最大值为 10.38 mg/g DW,比最小值(对照)高 202.62%。与根系不同,水稻茎鞘及叶中可溶性糖含量随重金属浓度的增加而减小。茎鞘及叶中可溶性糖含量的最大值均为 A0B0(对照),最小值均为 A3B3。与对照相比,茎鞘及叶中可溶性糖含量的最小值分别比同部位对照低 157.54%和 88.09%。从处理间差异来看,锌浓度间、铬浓度间及锌铬浓度互作间水稻根系、茎鞘及叶中的可溶性糖含量的差异均达极显著水平($P<0.01$)。

2.3 锌铬复合胁迫对水稻植株可溶性蛋白含量的影响

从表 3 可以看出,与可溶性糖含量不同,在锌铬复合胁迫下,水稻根系、茎鞘及叶中可溶性蛋白含量随重金属浓度的增加而呈高低起伏的变化趋势。水稻根系可溶性蛋白含量随重金属浓度的增大先升后降再升。在锌或铬单一胁迫下,茎鞘中可溶性蛋白含量随重金属浓度增加而降低,但在复合胁迫下,则变化不定。叶中可溶性蛋白含量的变化与茎鞘变化相似。从处理间的差异来看,锌浓度间、铬浓度间及锌铬浓度互作间水稻根系、茎鞘及叶中可溶性蛋白含量的差异均达极显著水平($P<0.01$)。

2.4 锌铬复合胁迫对水稻植株全氮含量的影响

从表 4 可以看出,在锌铬复合胁迫下,水稻根系全氮含量随铬浓度的变化规律不明显,而随锌浓度的变化规律明显。在铬浓度一定时,水稻根系全氮含量均随锌浓度的增加先增后降,且转折浓度的锌为 250 mg/kg。水稻茎鞘及叶中全氮含量的变化与根大体一致。从处理间的差异来看,锌浓度间、铬浓度间及锌铬浓度互作间水稻根系、茎鞘及叶中全氮含量的差异均达极显著水平($P<0.01$)。

表 1 锌铬复合胁迫对水稻干物质积累的影响

处理	根干质量 (g/株)	地上部分干质量 (g/株)	根冠比
A0B0	0.539 aA	3.64 aA	0.148 deDE
A0B1	0.458 bB	3.22 bBC	0.142 fgFG
A0B2	0.431 cCD	2.96 cdeDE	0.146 gDE
A0B3	0.430 cCD	2.74 eEF	0.157 cdCD
A1B0	0.433 cC	3.24 bB	0.134 ijFG
A1B1	0.428 cCD	3.00 cdCDE	0.143 hG
A1B2	0.413 dDE	2.83 deDE	0.146 efDF
A1B3	0.357 fFG	2.06 gH	0.173 bAB
A2B0	0.405 deE	3.08 bcBCD	0.131 jG
A2B1	0.394 eE	2.89 deE	0.136 ijFG
A2B2	0.369 fF	2.78 deDE	0.133 ijG
A2B3	0.311 hH	1.93 gH	0.161 cBC
A3B0	0.338 gG	2.42 fFG	0.140 ijG
A3B1	0.284 iI	2.09 gGH	0.136 hijG
A3B2	0.278 iI	2.01 gH	0.138 jG
A3B3	0.280 iI	1.54 hI	0.182 aA

注:数据后的小写字母表示差异达 5%水平,大写字母表示差异达 1%水平,下同。

表 2 锌铬复合胁迫对植株可溶性糖含量的影响

mg/g DW			
处理	根	茎鞘	叶
A0B0	3.43 fE	40.33 aA	9.95 aA
A0B1	3.94 fDE	34.76 abAB	8.32 bcC
A0B2	6.52 deD	24.44 eFG	9.00 abAB
A0B3	6.83 cdD	24.32 eFG	8.76 abcAB
A1B0	4.49 efE	37.12 abA	8.75 abcAB
A1B1	6.41 deD	32.42 bcdE	8.92 abAB
A1B2	6.70 dD	26.74 deF	7.85 cdeD
A1B3	10.18 aA	28.55 cdeF	7.75 efD
A2B0	7.07 cdBC	33.69 bcC	8.15 bcdD
A2B1	7.51 cdAB	33.28 bcD	7.68 defCD
A2B2	8.91 aAB	25.29 eEFG	7.75 defCD
A2B3	9.09 abAB	16.14 fH	6.76 defDE
A3B0	7.88 bcdAB	17.85 fGH	7.46 efCD
A3B1	8.33 bcdAB	18.21 fGH	6.68 efCDE
A3B2	8.46 bcdAB	25.46 eFG	6.40 fgDE
A3B3	10.38 aA	15.66 fH	5.29 gE

表 3 锌铬复合胁迫下水稻可溶性蛋白含量的影响

mg/g FW			
处理	根	茎鞘	叶
A0B0	0.75 defDE	1.62 aA	7.09 gFG
A0B1	0.86 cdefDE	1.36 defgEF	7.63 deCD
A0B2	0.60 efDE	1.22 fghEFG	7.38 fgEF
A0B3	1.58 abABC	1.35 fgEF	8.20 aA
A1B0	0.77 defDE	1.28 fgFG	7.82 bcdBC
A1B1	0.94 defDE	1.54 bcC	7.55 defDE
A1B2	0.52 fE	1.31 fgEFG	7.49 efDEF
A1B3	1.40 cdCDE	1.58 abAB	7.65 cdeCD
A2B0	0.74 defDE	1.23 fghFG	7.90 abcBC
A2B1	0.94 defCDE	1.47 cdCD	8.05 abAB
A2B2	0.68 efCDE	1.33 fgEFG	6.78 hG
A2B3	1.37 cdCDE	1.09 hG	7.18 gEFG
A3B0	1.21 cdeCDE	1.18 ghFG	7.58 efCDE
A3B1	1.50 cCD	1.34 fgEFG	7.89 bcABC
A3B2	1.88 aA	1.44 deDE	7.28 fgDEF
A3B3	1.63 aAB	1.38 efEF	7.52 efDE

2.5 锌、铬与水稻植株碳氮代谢产物的偏相关分析

从表 5 可以看出,土壤中锌浓度、铬浓度与水稻根系、茎鞘及叶中可溶性糖含量均有极显著的相关关系。其中,土壤中锌浓度、铬浓度与水稻根系可溶性糖含量呈极显著的正相关关系,与茎鞘及叶中可溶性糖含量呈极显著的负相关关系。这说明土壤中锌浓度、铬浓度与水稻根系、茎鞘及叶中可溶性糖含量均产生了 Zn-Cr 协同复合效应。

与可溶性糖不同,土壤中锌浓度、铬浓度与水稻根系可溶性蛋白含量有极显著的正相关关系,产生了 Zn-Cr 协同复合效应,而与茎鞘及叶中的可溶性蛋白含量的相关性不显著,未产生复合效应。土壤中锌浓度与水稻根及叶中全氮含量分别呈显著和极显著的正相关关系,与茎鞘中的全氮含量相关性不显著。土壤中铬浓度与水稻根系、茎鞘及叶中全氮含量的相关性均未达显著水平。

表 5 锌、铬与水稻植株碳氮代谢产物的偏相关关系

碳氮代谢产物	根		茎鞘		叶	
	Zn 浓度	Cr 浓度	Zn 浓度	Cr 浓度	Zn 浓度	Cr 浓度
可溶性糖含量	0.8344 **	0.8357 **	- 0.7539 **	- 0.7188 **	- 0.9336 **	- 0.8077 **
可溶性蛋白含量	0.6736 **	0.6422 **	- 0.1967	- 0.0250	- 0.0435	- 0.0611
全氮含量	0.5688 *	- 0.1491	0.4352	0.1558	0.6618 **	- 0.0689

注: *和 ** 分别表示 5 %和 1 %的显著水平。

3 小 结

在锌铬复合胁迫下,随着重金属浓度的增加,水稻干物质积累量降低,根冠比却呈增加的趋势。锌浓度间、铬浓度间及锌铬浓度互作间水稻根干质量、地上部分干质量及根冠比的差异均达极显著水平 ($P<0.01$)。

可溶性糖是植物碳代谢的主要物质之一,与植物的抗性有密切关系。在锌铬复合胁迫下,随着重金属浓度的增加,根系可溶性糖含量均呈增加的趋势,而茎鞘及叶中可溶性糖含量呈降低的趋势,且不同处理在各器官表现的差异均达极显著水平 ($P<0.01$)。这说明在重金属胁迫下,水稻通过增加根系中可溶性糖含量,降低茎鞘及叶中可溶性糖含量来协调源流库的关系,从而提高自身对逆境的生态适应能力。

从水稻植株氮代谢来看,与可溶性糖含量不同,在锌铬复合胁迫下,水稻根系、茎鞘及叶中可溶性糖含量和全氮含量均随重金属浓度的增加而呈高低起伏的变化。锌浓度间、铬浓度间及锌铬浓度互作间水稻根系、茎鞘及叶中可溶性蛋白含量和全氮含量的差异均达极显著水平 ($P<0.01$)。

偏相关分析表明,锌浓度、铬浓度与水稻根系可溶性糖含量呈极显著的正相关关系,与茎鞘及叶中可溶性糖含量呈极显著的负相关关系,这说明土壤中锌浓度和铬浓度与水稻根系、茎鞘及叶中可溶性糖含量均产生了 Zn-Cr 协同复合效应。锌浓度、铬浓度与水稻根系可溶性蛋白含量有极显著的正相关关系,产生了 Zn-Cr 协同复合效应,而全氮含量未产生复合效应。

参考文献:

[1] 冯绍元,邵洪波,黄冠华. 重金属在小麦作物体中残留特征的田间试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 113-115.

[2] 潘洁,毛建华,陆文龙. 垃圾肥对土壤和农产品重金属含量的影响[J]. 农业环境保护, 1998, 17(3): 109-112.

表 4 锌铬复合胁迫对水稻全氮含量的影响 mg/ g DW

处理	根	茎鞘	叶
A0B0	10.73 fgEF	11.77 fgFG	26.89 dC
A0B1	13.31 efEF	14.59 eEF	19.81 gE
A0B2	10.35 gF	13.57 efF	17.09 iF
A0B3	11.19 fgDEF	10.00 gG	24.34 fD
A1B0	13.00 defDEF	12.91 efFG	24.26 fD
A1B1	13.20 cdefDEF	19.45 dCD	18.90 ghEF
A1B2	11.07 fgEF	13.97 efF	26.54 deC
A1B3	12.25 fgEF	22.06 bcBC	18.00 hiEF
A2B0	17.34 aA	20.21 cdBCD	26.19 deCD
A2B1	17.08 aA	19.82 cdCD	19.71 gE
A2B2	13.97 cdeDE	23.38 bB	35.07 cB
A2B3	15.35 abcBC	27.07 aA	37.24 abA
A3B0	12.17 efGDEF	20.17 cdBCD	37.94 aA
A3B1	16.50 abAB	19.20 dCD	35.92 bcAB
A3B2	14.79 bcdCD	17.84 dDE	34.78 cB
A3B3	14.27 cdeCDE	14.86 eEF	25.08 efCD

[3] 王国梁,周生路,赵其国,等. 菜地土壤剖面上重金属元素含量随时间的变化规律研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 79-84.

[4] 孙丽娜,王洪,李玉双,等. 抚顺煤矿西露天采场裸露岩石的污染潜势研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 78-80, 97.

[5] 程杰,高压军. 镉毒害对小麦生理生态效应的研究进展[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 218-221, 227.

[6] 孙丽娜,孙铁珩,金成洙. 卧龙泉河流域土壤重金属污染的模糊评价[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 126-129.

[7] 葛才林,杨小勇,金阳,等. 重金属胁迫对水稻不同品种超氧化物歧化酶的影响[J]. 核农学报, 2003, 17(4): 286-291.

[8] 葛才林,杨小勇,朱红霞,等. 重金属胁迫对水稻叶片过氧化氢酶活性和同功酶表达的影响[J]. 核农学报, 2002, 16(4): 197-201.

[9] 朱红霞,杨小勇,葛才林,等. 重金属对水稻过氧化物酶同功酶的影响[J]. 核农学报, 2004, 18(3): 233-23.

[10] 王新,梁仁禄. 土壤-水稻系统中重金属复合污染物交互作用及生态效应的研究[J]. 生态学杂志, 2000, 19(4): 38-42.

[11] 荣湘民,刘强,朱红梅. 水稻的源库关系及碳、氮代谢的研究进展[J]. 中国水稻科学, 1998, 12(增刊): 63-69.

[12] 王永锐. 水稻品种生育中期在不同氮水平条件下的谷粒产量和氮素积累[J]. 华南农学院学报, 1982, 3(3): 41-45.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析(3 版) [M]. 北京:中国农业出版社, 2000.

[14] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都:四川科学技术出版社, 2003: 51-52.