

镍对玉米和水稻污染效应及累积规律的研究

康立娟¹, 谢忠雷²

(1.吉林农业大学资源与环境学院, 吉林 长春 130118; 2.吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130012)

摘要:通过盆栽试验,分别探讨了镍在砂壤水稻土中对水稻和在草甸黑土中对玉米的污染效应和累积规律。结果表明,镍对水稻的毒害作用主要表现为生物量和有效分蘖下降,对玉米的毒害作用主要表现为生物量下降和穗重量降低。水稻和玉米各器官对镍的累积量随土壤中镍投加量的增加而增大,其分布规律为根>>茎叶>>子粒。分别以食品卫生标准和作物减产 10%为依据,确定了镍在砂壤水稻土中对水稻和在草甸黑土中对玉米的毒性临界含量。

关键词:镍;水稻;玉米;污染效应;累积规律;临界含量

中图分类号:X503.231 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)06-2315-04

Pollution Effects and Accumulation Rules of Nickel in Corn and Rice

KANG Li-juan¹, XIE Zhong-lei²

(1. College of Resources and Environment Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. College of Environment and Resources Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: The pollution effects and accumulation rules of nickel were studied in the sandy loam paddy soil for rice and in the meadow soil for corn by pot experiments. The phytotoxicity of nickel in the soils presented both the decreasing of biomass and effective tiller for rice and the decreasing of biomass and weight of grain's ear for corn. The nickel content in the tissues of the two plants increased with the increasing doses of nickel in soils. The accumulation rules of nickel in the two plants were all root>>stem and leaf>>grain. Comparing with rice, there was higher ability in the absorption and transformation of nickel from soil into corn. In addition, the critical concentrations of nickel phytotoxicity for both rice in the sandy loam paddy soil and corn in the meadow soil were determined based on the food standard of nickel ($1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and the reduction 10% of crop yield. According to the standard of the food limit quantity, the critical concentrations of nickel were $69\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (total) and $3.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (available) in the sandy loam paddy soil and $26\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (total) and $1.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (available) in the meadow soil, respectively. However, according to the standard of the reduction 10% of crop yield, the critical concentrations of nickel were $143\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (total) and $9.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (available) in the sandy loam paddy soil and $188\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (total) and $39\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (available) in the meadow soil, respectively.

Keywords: nickel; rice; corn; pollution effect; accumulation rule; critical concentration

镍是土壤中主要的金属污染物之一,全球每年因工业生产等原因而进入到土壤中的镍达数千万吨之多,并呈逐年上升之势^[1]。镍是有潜在毒性的重金属元素,是脲酶的组成成分,对某些作物来说是必需的。但过量的镍会阻滞作物的生长发育,降低产量,被植物吸收并在可食部位积累,对人类健康造成严重的危害。植物对镍的吸收受多方面的影响,但土壤质地和

作物种类的影响是主要的。目前有关镍对农作物毒性的影响研究很少。本文通过盆栽试验,探讨镍在不同的土壤中对吉林省两大主要作物——水稻和玉米的影响,为综合治理土壤镍污染提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤为吉林省砂壤水稻土和草甸黑土,性质见表 1。

1.2 盆栽试验设计

水稻盆栽试验在直径 25 cm、高 35 cm 的搪瓷盆中进行;玉米盆栽试验在直径 25 cm、高 28 cm 的塑料

收稿日期:2008-01-04

基金项目:国家自然科学基金项目资助(40573052)

作者简介:康立娟(1961—),女,教授,研究方向为环境污染化学。

E-mail: kanglijuan61@126.com

通讯作者:谢忠雷 E-mail: xiezL@jlu.edu.cn

盆中进行。每盆装土 10 kg。施加 $\text{NiSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (分析纯), 设 4 个处理(CK、I、II、III)、3 次重复(见表 2)。各处理施加同等氮、磷、钾作底肥。水稻插秧前 10 d 泡水, $2 \text{ 穴} \cdot \text{盆}^{-1}$, $3 \text{ 株} \cdot \text{穴}^{-1}$, 生长期 121 d; 玉米是每盆播种 5 粒, 定苗 1 株, 生长期 133 d。以上试验在露天网室内进行, 常规管理。

1.3 样品采集与分析方法

供试样品均为收获时一次采集。四分法取土样, 并风干、研磨、过筛, 经王水-高氯酸消化; 植物样洗净风干, 分取各部位粉碎, 经浓硝酸-高氯酸消化, 用原子吸收分光光度计测定($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 级用石墨炉)。土壤中有效态镍以 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ DTPA 提取, 同法测定。

2 结果讨论

2.1 镍对水稻和玉米生长发育和产量的影响

表 2 列出了土壤镍的全量和有效态含量对水稻和玉米生长发育和产量的影响。由表 2 可见, 在本试验浓度范围内, 镍在砂壤水稻土中能刺激水稻生长, 各处理水稻株高明显高于对照。但随着土壤含镍量的增加, 使水稻有效分蘖数急剧下降, 从而降低其生物

量, 导致百粒重下降, 最终影响产量; 而在草甸黑土中, 低浓度镍能促进玉米生长, 使株高、生物量、茎粗及穗重等均高于对照, 有增产作用。但随着土壤含镍量的增加, 对玉米的毒害作用逐渐明显, 使玉米的各生长发育指标呈规律性下降。

低浓度镍对植物生长的促进作用^[2-3], 可能主要与镍是脲酶的组成成分有关。植物和微生物中存在的加氢酶、一氧化碳脱氢酶、甲基还原酶都含有镍, 并且镍对植物的氮代谢过程也是必不可少的^[4]。镍还能促进植物对铁的吸收^[4]。植物对镍的需求量不大, 过量的镍对植物有毒害作用, 这可能与镍使脯氨酸含量、硫醇含量和脲酶活性的降低有关^[2, 5]。同时, 镍可以使土壤中的细菌、真菌和放线菌总数下降, 抑制土壤呼吸作用, 抑制植物对微量元素 Fe、Zn、Cu、Mn 的吸收积累, 从而影响植物的代谢功能^[4, 9]。胡泽友^[10]认为活性氧积累和由此造成的氧化损伤是植物在镍胁迫下重要的生理特征, 同时可能是植物镍毒害的部分生理原因。这种作用首先发生在根部, 这是镍对植物毒害作用的主要特征之一。通过考种发现, 受镍毒害严重的植株根须变短, 根毛减少, 根系发达程度下降, 从而影响根

表 1 供试土壤性质

Table 1 Properties of the soils		
土壤 Soil	砂壤水稻土 Sandy loam paddy soil	草甸黑土 Loam clay soil
pH	6.7	6.9
有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Organic matter	15.6	27.8
阳离子交换量 / $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cation exchange capacity	14.85	16.01
土壤全镍 / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Total Ni concentration in soil	37.0	34.7
土壤有效态镍/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Available Ni concentration in soil	1.0	4.9

表 2 镍对水稻和玉米生长发育和产量的影响

Table 2 Effects of nickel on development and yield of rice and corn								
处理 Treatment	水稻 Rice				玉米 Corn			
	CK	I	II	III	CK	I	II	III
施加量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ addition amount	0	60	120	180	0	70	140	280
土壤全镍/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Total Ni concentration in the soil	26.67	99.22	159.8	264.8	22.88	103.2	174.2	310.3
土壤有效镍 / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Available Ni concentration in the soil	0.35	4.37	11.07	21.20	1.57	18.69	34.02	67.20
株高 /cm Plant height	104.0	112.0	111.3	109.7	243.4	246.5	233.7	218.2
地上部干重/g Dry- wt. of parts except root	121.7	92.5	88.0	72.1	656.0	618.3	561.6	413.7
百粒重/g 100-grain-wt.	1.81	1.69	1.49	1.47	30.6	29.3	27.0	22.4
水稻有效分蘖数 Valid rice tiller	39.0	35.7	31.0	22.7				
玉米茎粗/cm Steam thickness of Corn					8.0	7.6	7.5	6.9
玉米穗重/g Ear Wt. of Corn					308.3	325.3	281.0	203.3
产量/ $\text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$ Yield	48.7	46.0	43.6	36.1	161.7	182.5	159.3	108.3
增减产量/% Yield rate of increase or decrease	-	-5.5	-10.5	-25.8	-	+12.8	-1.5	-33.0

注:以上数据是 3 次重复的平均值。下表同。
Note: These data were the mean value of triplicate for the table 2 and 3.

的吸收功能,光合作用减弱,并影响地上部发育,最终导致减产^[7]。镍对水稻的毒害作用大于玉米,对水稻毒害作用主要表现在使水稻的生物量和有效分蘖下降,且在本试验浓度范围内各处理均使水稻减产。

通过考察产量与土壤镍含量的关系,得出砂壤水稻土中镍含量超过 42 mg·kg⁻¹ 时会影响水稻的产量。这与土壤环境质量标准(GB 15618—1995)中规定的二级土壤环境质量标准镍的限量(50 mg·kg⁻¹)基本一致;而在草甸黑土中含镍量达到 44 mg·kg⁻¹ 时对株高和生物量有影响,达到 95 mg·kg⁻¹ 时对其产量有影响。镍对这两种作物的毒害差异,可能与土壤的种类不同有关,因为草甸黑土对重金属的吸附量大,所以玉米抗镍毒害能力强。另外,水稻植株体积和质量均比玉米的小,因此水稻抗镍毒害的能力也弱。已有研究结果证实了水稻是较易受重金属毒害的作物^[8]。

2.2 水稻和玉米对镍的吸收累积与分配

水稻和玉米各器官含镍量及吸收系数见表 3。由表 3 可见,作物各部位含镍量随土壤投加量的增加而增加,水稻为:根>>茎叶>子粒,分配比约为:200:9:1;玉米为:根>叶>茎>子粒,分配比约为:19:2:1.8:1。

从作物各器官的吸收系数(该器官元素含量与该水平下土壤元素全量的比值)来看,同一水平下吸收系数按根、叶茎、子粒的顺序递减,表现出明显的规律性,反映出重金属离子不易向地上部位转移的特点^[4-8]。随土壤镍投加量的增加,水稻同一部位的吸收系数呈下降趋势,而玉米则呈增大趋势(除子粒基本不变外)。与水稻相比,玉米对镍的吸收能力和镍由土壤向玉米体内转移的能力更强。

2.3 土壤镍的毒性临界值

通常以可食部位该元素含量达到食品卫生标准或使作物减产 10%为依据确定土壤重金属毒性临界

值。目前还没有镍的食品卫生标准,仅有人造奶油中镍的限量标准(GB 15196—2003)(1 mg·kg⁻¹)。如果以此为依据,则回归分析得到砂壤水稻土中镍对水稻的毒性临界值为 69 mg·kg⁻¹(全量)和 3.2 mg·kg⁻¹(有效态含量),草甸黑土中镍对玉米毒性临界值为 26 mg·kg⁻¹(全量)和 1.3 mg·kg⁻¹(有效态含量)。由此可见,草甸黑土中镍对玉米的毒性临界值比砂壤水稻土对水稻的小得多,这可能与镍在玉米中较易向子实部位转移有关。如果以傅逸根^[11]建议的粮食中镍的卫生限量标准(0.4 mg·kg⁻¹)为水稻和玉米中镍的限量标准,则本试验结果全部超标。如果以作物减产 10%为依据,可得镍的植物毒性临界值分别为:砂壤水稻土为 143 mg·kg⁻¹(全量)和 9.0 mg·kg⁻¹(有效态含量),草甸黑土为 188 mg·kg⁻¹(全量)和 38 mg·kg⁻¹(有效态含量)。由此可见,以作物减产 10%为依据确定的草甸黑土的毒性临界值较砂壤水稻土高,这可能与草甸黑土黏度大、对重金属吸附量大有关。本结果均小于三级土壤环境质量标准镍的临界值(200 mg·kg⁻¹)(土壤环境质量标准 GB 15618—1995),这也说明了不同类型土壤中重金属的植物毒性临界含量差异很大。

3 结论

(1)镍对水稻的毒害作用主要表现为生物量和有效分蘖下降,对玉米的毒害作用主要表现为生物量下降和穗重量降低。(2)水稻和玉米各部位镍含量均随土壤投加镍量的增加而增加,累积规律为:水稻为根>>叶茎>>子粒,玉米为根>叶>茎>子粒。与水稻相比,玉米对镍的吸收能力更强。(3)砂壤水稻土对水稻和草甸黑土壤对玉米的毒性临界含量分别为:如果以 1 mg·kg⁻¹ 为食品中镍的限量标准,砂壤水稻土为 69 mg·kg⁻¹(全量)和 3.2 mg·kg⁻¹(有效态含量),草甸

表 3 水稻和玉米各器官镍含量及镍的吸收系数
Table 3 Concentrations and absorptivities of nickel in the tissues of rice and corn

		水稻 Rice				玉米 Corn			
	处理 Treatment	CK	I	II	III	CK	I	II	III
根 Root	含量/mg·kg ⁻¹ Concentration	31.67	215.0	259.0	400.7	16.70	80.99	137.8	251.3
	吸收系数/% Absorptivity	118.7	216.7	162.1	151.3	59.48	78.47	79.10	80.99
茎 Stem	含量/mg·kg ⁻¹ Concentration	3.33	10.10	12.03	14.23	1.68	5.28	12.36	39.60
	吸收系数/% Absorptivity	12.49	10.18	7.53	5.37	7.34	5.12	7.10	12.76
叶 Leaf	含量/mg·kg ⁻¹ Concentration					3.92	6.76	11.35	24.84
	吸收系数 /% Absorptivity					17.13	6.55	7.09	8.00
子粒 Grain	含量/mg·kg ⁻¹ Concentration	0.93	1.04	1.30	2.08	0.66	4.38	7.38	12.72
	吸收系数/% Absorptivity	3.49	1.05	0.81	0.79	2.88	4.24	4.24	4.10

黑土为 26 mg·kg⁻¹ (全量) 和 1.3 mg·kg⁻¹ (有效态含量);如果以作物减产 10%为依据,砂壤水稻土为 143 mg·kg⁻¹(全量)和 9.0 mg·kg⁻¹(有效态含量),草甸黑土为 188 mg·kg⁻¹(全量)和 38 mg·kg⁻¹(有效态含量)。

参考文献:

[1] Gomes–Junior R A, Moldes C A, Delite F S, et al. Nickel elicits a fast antioxidant response in *Coffea arabica* cells[J]. *Plant Physiol Biochem*, 2006, 44:420–429.

[2] Fliepbach A, Martens R, Reber H. Soil microbial biomass and activity in soils treated with heavy metal contaminated sewage sludge[J]. *Soil Boil Biochem*, 1994, 26:1201–1205.

[3] 张秀玲, 宋光煜. 植物的镍素营养[J]. 土壤肥料, 2004, 6:33–36.

ZHANG Xiu–ling, SONG Guang–yu. The nickel nutriments of plant[J]. *Soils and Fertilizers*, 2004, 6:33–36.

[4] 刘国栋. 植物营养元素——Ni[J]. 植物营养与肥科学报, 2001, 7(1): 103–108.

LIU Guo–dong. Nickel—a nutrition element for higher plant growth[J]. *Plant Untrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(1):103–108.

[5] Shweta S, Arvind M, Kayastha, et al. Response of Rhizobium legumi–nosarum to nickel stress[J]. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2001, 17:667–672.

[6] 蔡信德, 仇荣亮, 陈桂珠, 等. 植物修复对重金属镍污染土壤微生物群落的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(6):919–925.

CAI Xin–de, QIU Rong–liang, CHEN Gui–zhu, et al. Response on microbial communities to phytoremediation of nickel contaminated soils [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(6):919–925.

[7] 方晓航, 仇荣亮. 有机整合剂在镍污染土壤植物修复中的研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(10):10–14.

FANG Xiao–hang, QIU Rong–liang. Study progress of role of organic chelators on phytoremediation of nickel–contaminated soil [J]. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2002, 3(10):10–14.

[8] 周 鸿. 铅对几种农作物的影响及迁移积累规律初探 [J]. 环境科学学报, 1989, 9(1):27–39.

ZHOU Hong. A preliminary study on the impact and the law of translocation and accumulation of lead in crop[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 1989, 9(1):27–39.

[9] 蔡信德, 仇荣亮, 陈桂珠. 镍污染对土壤微生物的生态效应 [J]. 生态科学, 2004, 23(3):273–277.

CAI Xin–de, QIU Rong–liang, CHEN Gui–zhu. Review on ecological effects of microorganism in nickel polluted soil[J]. *Ecologic Science*, 2004, 23(3):273–277.

[10] 胡泽友, 邓小波, 彭喜旭, 等. 外源钙对镍胁迫下水稻幼苗抗氧化酶活性及膜脂过氧化的影响 [J]. 中国水稻科学, 2007, 21 (4):367–371.

HU Ze–you, DENG Xiao–bo, PENG Xi–xu. Effects of external calcium on activities of antioxidant enzymes and membrane lipid peroxidation in rice seedlings under nickel stress[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2007, 21(4):367–371.

[11] 傅逸根, 胡 欣, 俞苏霞. 食品中镍限量卫生标准的研究[J]. 浙江省医学科学院学报, 1999, 3:9–11.

FU Yi–gen, HU Xin, YU Su–xia. Study on the tolerance limit of nickel in foods[J]. *Acta Academiae Medicinae Zhejiang*, 1999, 3:9–11.