

河北省农田土壤中的镍^①

马建军, 朱京涛, 刘玉艳, 于凤鸣, 杜彬

(河北科技师范学院, 河北秦皇岛 066004)

摘要: 分析测定了河北省农田主要类型耕层土壤中的 Ni 含量及土壤中 Ni 含量的剖面变化, 结果表明, 河北省农田土壤中 Ni 的平均含量为 26.48 mg/kg, 含量范围为 8.62 ~ 94.77 mg/kg, 土壤中 Ni 含量水平在 20 ~ 30 mg/kg 范围内分布频率最高。土壤中 Ni 的含量总体变化趋势是由北向南、由西向东呈逐渐增加趋势。主要类型土壤中 Ni 的平均含量水平高低为棕壤土 > 潮土 > 褐土 > 栗钙土; 4 种类型土壤中 Ni 含量的剖面变化表现为下层略高于表层, 但含量差异不显著。农田土壤中 Ni 含量的变化与土壤 pH 值、全盐量及有机质的含量变化相关性不显著。

关键词: 河北省; 农田土壤; 镍

中图分类号: S153.6+1

镍 (Ni) 作为植物生长必需的微量营养元素^[1-2], 土壤 Ni 营养的高低将直接影响植物的产量和品质。马建军等^[3-6]研究证实, 土壤中施用适量 Ni 肥对蔬菜具有增产效应, 并且能够改善植物水分代谢, 同时提出了土壤中 Ni 含量的限量值。因此, 摸清农田土壤中 Ni 含量的分布情况, 对于建立农田土壤环境质量标准, 科学指导施肥具有重要意义。本文研究了河北省主要类型农田耕层及剖面土壤中的 Ni 含量及其与主要土壤理化性质的关系, 以期为进一步探明农田土壤质量和科学指导 Ni 肥施用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

供试耕层土壤于 2003 年 10 月采自河北省石家庄、保定、廊坊、邢台、承德、唐山、秦皇岛等 11 个地区, 耕层土壤样本 275 个, 土壤取样深度为 0 ~ 20 cm; 剖面土壤于 2004 年 10 月采自河北省沧州、邢台、承德、唐山、石家庄、张家口、邯郸等 7 个地区, 采土区域自上而下 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80、80 ~ 100 cm 5 个剖面层土壤, 剖面土壤样本 80 个。耕层和剖面土壤类型均为褐土、潮土、棕壤和栗钙土。土壤样本处理与保存按常规标准方法进行。

1.2 测定方法

土壤中 Ni 含量分析采用王水-高氯酸混合酸消解, 消煮液采用 3200 型原子吸收分光光度计测定; 土壤中有机质、pH 值、全盐量等理化指标的测定, 采用文献 [7] 中相应指标具体分析方法进行。数据统计分析采用 DPS 统计分析软件完成。

2 结果与分析

2.1 耕层土壤的 Ni 含量

河北省农田主要类型土壤中 Ni 平均含量为 26.48 mg/kg, 含量范围为 8.62 ~ 94.77 mg/kg, 低于河北省土壤 (A 层) 中 Ni 平均含量水平 (30.80 mg/kg), 与中国土壤 (A 层) 中 Ni 平均含量 (26.90 mg/kg) 基本持平, 而低于相邻地区北京和天津土壤中 Ni 的平均含量水平 (北京为 29.0 mg/kg, 天津为 33.30 mg/kg)^[8]。从全省 11 个地级市土壤分布区域测定结果可以看出 (表 1), 各地区农田土壤中 Ni 含量水平在 20 ~ 30 mg/kg 范围内分布频率最高; Ni 含量高于 40 mg/kg 的农田土壤分布频率较低, 除唐山地区外, 其他各地区分布频率均为 5% 左右。河北省农田土壤中 Ni 含量总体变化趋势是由北向南、由西向东呈逐渐增加趋势, 全省不同地区农田土壤中 Ni 含量无明显差异 ($p > 0.05$)。

按土壤类型划分 (表 2), 棕壤土中 Ni 平均含量最高, 为 30.18 mg/kg; 栗钙土中 Ni 平均含量最低, 为 22.43 mg/kg, 与其他 3 种类型土壤比较, 其含量差异达显著 ($p < 0.05$) 或极显著 ($p < 0.01$) 水平。河北省主要类型土壤中 Ni 平均含量水平高低为: 棕壤土 > 潮土 > 褐土 > 栗钙土。与全国土壤 (A 层) 相应土壤类型比较, 除棕壤土 Ni 含量高于全国土壤 (A 层) 中 Ni 平均含量水平外, 其他 3 种类型土壤均略低于全国相应土壤 (A 层) 中 Ni 平均含量水平。4 种类型土壤中 Ni 含量均在 20 ~ 30 mg/kg 含量范围内分布频率最高, Ni 含量高于 40 mg/kg 的土壤, 除棕壤土分布频率较高外, 其他 3 种类型土壤分布频率较低。

^①基金项目: 河北省教育厅科学基金项目 (2003242) 资助。

作者简介: 马建军 (1964—), 男, 河北昌黎人, 硕士, 研究员, 主要从事植物营养与农业环境化学研究。E-mail: kycmj@163.com

表1 河北省不同地区耕层土壤中 Ni 含量和频率分布

Table 1 Ni contents and frequency distributions of tillage layers in Hebei province

分布地区	样品数	全 Ni 含量 (mg/kg)			全 Ni 含量分级 (%)				
		范围	平均值 ± 标准差	变异系数 (CV %)	<10	10~20	20~30	30~40	>40
张家口	29	8.62 ~ 44.17	24.49 ± 9.00 a	36.75	6.90	20.69	48.28	17.24	6.90
承德	17	11.67 ~ 57.72	26.06 ± 11.57 a	44.40	0	29.41	47.06	17.65	5.88
保定	47	9.44 ~ 46.95	26.83 ± 6.52 a	24.30	2.13	10.64	61.70	21.28	4.26
廊坊	8	18.77 ~ 30.89	25.61 ± 3.96 a	15.46	0	12.50	75.00	12.50	0
唐山	24	11.42 ~ 94.77	27.00 ± 19.13 a	70.85	0	54.17	16.67	4.17	25.00
秦皇岛	13	14.69 ~ 38.86	27.66 ± 7.25 a	26.21	0	16.53	47.25	30.26	5.96
石家庄	40	10.62 ~ 40.56	28.13 ± 6.18 a	21.97	0	5.00	62.50	27.50	2.50
衡水	20	21.78 ~ 37.64	29.74 ± 4.82 a	16.21	0	0	60.60	40.00	0
沧州	22	18.32 ~ 43.99	29.65 ± 6.03 a	20.34	0	9.09	50.00	36.36	4.55
邢台	22	15.58 ~ 46.10	27.39 ± 6.27 a	22.89	0	13.64	63.64	18.18	4.55
邯郸	33	14.04 ~ 40.06	29.64 ± 6.14 a	20.72	0	6.06	51.52	39.39	3.03
全省平均	275	8.62 ~ 94.77	26.48 ± 10.22 a	38.60					
河北省 (A层) ^[8]	148	7.00 ~ 300.00	30.80 ± 11.18	36.30					
全国 (A层) ^[8]	4095	0.06 ~ 627.00	26.90 ± 14.36	53.38					

注：表中字母相同表示数据差异不显著 ($p>0.05$)。

表2 河北省4种主要类型土壤中的 Ni 含量和频率分布

Table 2 Ni contents and frequency distributions of four main soil types in Hebei province

土壤类型	研究范围	样品数量	全 Ni 含量 (mg/kg)			全 Ni 含量分级 (%)				
			范围	平均值 ± 标准差	变异系数 (CV %)	<10	10~20	20~30	30~40	>40
棕壤土	河北省	31	9.89 ~ 94.77	30.18 ± 19.16 a A	63.49	4.76	23.81	42.86	4.76	23.81
	全国 (A层) ^[8]	265	2.50 ~ 300.00	26.50 ± 10.24	38.64					
褐土	河北省	113	10.62 ~ 49.66	27.65 ± 7.80 a AB	28.21	0	16.81	53.10	24.78	5.31
	全国 (A层) ^[8]	242	9.00 ~ 627.50	30.70 ± 10.23	33.32					
潮土	河北省	111	9.44 ~ 46.95	28.07 ± 6.21 a AB	22.12	0.90	9.01	59.46	27.03	3.60
	全国 (A层) ^[8]	265	3.50 ~ 60.70	29.60 ± 9.50	32.09					
栗钙土	河北省	20	8.62 ~ 39.25	22.43 ± 8.08 b B	36.02	5.00	30.00	40.00	25.00	0
	全国 (A层) ^[8]	150	4.20 ~ 95.80	23.60 ± 10.29	43.60					

注：表中不同小写字母表示 $p<0.05$ 水平差异显著，不同大写字母表示 $p<0.01$ 水平差异极显著。

2.2 土壤中 Ni 含量的剖面变化

4 种类型土壤剖面不同发生层中 Ni 平均含量总体变化趋势一致 (表 3)，即下层土壤 (棕壤 40 ~ 60 cm，褐土 60 ~ 80 cm，潮土 60 ~ 80 cm，栗钙土 20 ~ 40 cm) 中 Ni 含量略高于表层土壤 (0 ~ 20 cm) 中 Ni 含量，但含量变化均不显著 ($p>0.05$)，与全国 C 层土壤中 Ni 含量 (棕壤土 32.40 mg/kg，褐土 33.20 mg/kg，栗钙土 26.50 mg/kg，潮土 30.80 mg/kg) 略高于 A 层土壤中 Ni 含量^[8] 的变化规律一致。杨定清^[9]报道，Ni 在土壤剖面中的分布一般较均匀，即表土 (0 ~ 20 cm) 中 Ni 含量与底土 (20 ~ 40 cm) 中 Ni 含量差别不大，剖面土壤中 Ni 含量自上而下呈淋洗累积趋势，但淋洗累积强度

不大，表明 Ni 在土壤剖面中的分布主要与土壤的淋洗势力有关。

2.3 耕层与剖面土壤中 Ni 含量与土壤主要理化性质的关系

元素在土壤中的富集、转化、迁移等地球化学行为与元素的化学性质、赋存状态以及所处的土壤、生物、水文等环境条件有关^[10]。由表 4 可以看出，4 种类型耕层和剖面土壤中 Ni 含量变化与土壤有机质、pH 值及全盐量的变化相关性均不显著，表明在农田栽培措施条件下，土壤有机质含量、pH 值及全盐量对土壤中 Ni 含量变化不会产生直接的影响。由此推断，土壤中 Ni 的全量水平并不能指示生物 Ni 的可利用性高低。

表 3 河北省 4 种主要类型土壤中 Ni 含量的剖面变化

Table 3 Ni contents in profiles of four main soil types

土壤类型	土层 (cm)	全 Ni 含量 (mg/kg)		
		范围	平均值 \pm 标准差	变异系数 (CV %)
棕壤土	0 ~ 20	13.28 ~ 43.60	28.58 \pm 12.69 a	44.40
	20 ~ 40	9.93 ~ 41.40	27.14 \pm 13.80 a	50.85
	40 ~ 60	13.42 ~ 50.60	29.45 \pm 15.54 a	52.67
	60 ~ 80	12.04 ~ 44.64	22.99 \pm 15.03 a	65.38
	80 ~ 100	11.56 ~ 45.69	26.29 \pm 12.82 a	48.76
褐土	0 ~ 20	25.18 ~ 49.66	33.82 \pm 10.83 a	32.02
	20 ~ 40	16.85 ~ 44.68	30.05 \pm 11.84 a	39.40
	40 ~ 60	25.59 ~ 41.01	32.69 \pm 6.59 a	20.16
	60 ~ 80	24.20 ~ 51.94	34.15 \pm 13.04 a	38.18
	80 ~ 100	15.95 ~ 35.04	23.14 \pm 8.26 a	35.70
潮土	0 ~ 20	23.38 ~ 27.97	25.72 \pm 1.96 a	7.62
	20 ~ 40	24.59 ~ 25.65	25.25 \pm 0.46 a	1.82
	40 ~ 60	19.97 ~ 27.54	24.45 \pm 3.19 a	13.05
	60 ~ 80	21.31 ~ 31.51	26.72 \pm 4.19 a	15.68
	80 ~ 100	20.59 ~ 27.29	24.80 \pm 2.92 a	11.77
栗钙土	0 ~ 20	17.57 ~ 30.84	25.81 \pm 6.14 a	23.79
	20 ~ 40	15.30 ~ 33.97	27.92 \pm 8.52 a	30.52
	40 ~ 60	10.78 ~ 39.46	25.09 \pm 11.71a	46.67
	60 ~ 80	11.61 ~ 31.04	24.37 \pm 8.89 a	36.48
	80 ~ 100	4.78 ~ 27.92	19.19 \pm 10.11 a	52.68

注: 各类土壤数据字母相同表示差异不显著 ($p > 0.05$)。

表 4 4 种类型耕层和剖面土壤中 Ni 含量与土壤主要理化指标的相关性

Table 4 Correlations between Ni contents in soil profiles, topsoil and the physical-chemical indexes of four main soil types

土壤类型	土壤分层	pH	全盐量	有机质
棕壤土	耕层	-0.206	0.180	0.220
	剖面	0.680	0.186	0.325
褐土	耕层	0.158	-0.145	0.014
	剖面	-0.377	-0.466	0.394
潮土	耕层	0.150	-0.127	0.149
	剖面	-0.594	0.105	0.185
栗钙土	耕层	0.384	-0.283	-0.216
	剖面	-0.048	-0.062	0.386

3 讨论

3.1 土壤中 Ni 的含量及分布

土壤中 Ni 的空间分布主要受成土母质制约, 但是人类活动、风向、河流等人文和自然条件对 Ni 的空间结构和分布格局有一定程度的影响^[11]。研究结果表明, 河北省农田土壤中 Ni 的含量分布总体趋势为自北

向南、自西向东呈逐渐增加趋势, 与郑袁明^[11]研究报道的北京市土壤中 Ni 的含量分布具有明显的西北低而东南高的变化趋势大体相一致, 而与海南省土壤中 Ni 含量的地理分异自北而南、自东向西呈减少趋势存在一定差异^[12]。河北省农田土壤中 Ni 平均含量水平低于河北省土壤中 Ni 元素的背景值, 而与全国土壤中 Ni 元素背景值基本持平, 农田耕层土壤中 Ni 含量的变化可能受土壤耕作过程的影响, 且土壤中 Ni 含量下降幅度与耕作年限有关^[12]。

根据 GB15618 (1995)^[13] 中土壤环境质量标准划分, 农田土壤属 II 类或 III 类土壤, 土壤中 Ni 环境质量二级标准为 40 ~ 60 mg/kg (pH 值范围 6.5 ~ 7.5), 三级标准不超过 200 mg/kg (pH > 6.5)。研究结果表明, 河北省 4 种主要类型 (棕壤土、褐土、潮土、栗钙土) 农田土壤中 Ni 的含量均低于 II 类土壤环境质量二级标准 (频率分布为 99.99%), 其土壤中 Ni 含量频率分布均大体在 20 ~ 30 mg/kg 的含量范围之内, 表明河北省农田土壤尚未出现重金属 Ni 污染问题, 符合农田土壤环境质量标准。

3.2 土壤中 Ni 的可利用性

研究表明^[3-6], 4种类型土壤中施Ni量在0~25 mg/kg范围内对蔬菜具有增产效应, 同时改善蔬菜水分代谢, 促进蔬菜茎叶组织水分吸收, 表明土壤中施用适量Ni肥有利于植物的吸收利用, 表现出一定的促进作用和抗逆特性。同时研究结果显示(表5), 不同类型土壤中施入过量Ni肥对小白菜产生毒害效应, 土壤中Ni的毒害临界含量接近或略超过农田II类土壤环境质量二级标准水平(40~60 mg/kg), 而蔬菜茎叶中Ni的毒害临界含量均低于国外蔬菜中的Ni含量水平(6.5~29 mg/kg)^[9]。由此可见, 河北省4种主要类型农田土壤(棕壤土、褐土、潮土、栗钙土)中Ni的含量频率分布均大多在20~30 mg/kg的含量范围之内, Ni肥在农田土壤中施用尚有一定利用空间, 从土壤环境和农产品质量安全角度考虑, 土壤中施入适量Ni肥是可行的。

表5 4种类型土壤小白菜施Ni量及其毒害临界值*(mg/kg)

Table 5 Ni concentrations spraying on Chinese cabbage and the critical values in four main soil types

土壤类型	施Ni量	临界值		
		土壤全Ni	土壤有效态Ni	茎叶Ni
棕壤	≤25	66.36	6.21	16.40
褐土	≤25	57.22	8.59	20.51
潮土	≤25	41.68	2.55	22.39
栗钙土	≤25	62.03	6.83	16.36

*: 数据摘自文献[3-6]。

参考文献:

- [1] 龙新宪, 杨肖娥. 植物镍营养. 土壤通报, 2000, 31(1): 39-42
- [2] 张西科, 张福锁, 李春俭. 植物生长必需的微量营养元素—镍. 土壤, 1996, 28(4): 176-179
- [3] 马建军, 朱京涛, 于凤鸣, 刘永军, 张淑侠. 褐土施镍对小白菜的生物效应及临界值的研究. 生态与农村环境学报, 2006, 22(1): 75-79
- [4] 马建军, 于凤鸣, 朱京涛, 张淑侠, 刘永军. 潮土施镍对小白菜的生物效应及其临界值研究. 安全与环境学报, 2006, 6(3): 64-67
- [5] 马建军, 朱京涛, 张淑侠, 于凤鸣, 刘永军. 棕壤小白菜施镍生物效应及临界值. 土壤, 2006, 38(4): 494-498
- [6] 马建军, 于凤鸣, 朱京涛, 张淑侠, 刘永军. 栗钙土施镍对小白菜的生物效应及其临界值. 河北农业大学学报, 2007, 30(1): 8-12
- [7] 中国科学院南京土壤研究所编著. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1977
- [8] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 392-364
- [9] 杨定清. 土壤-植物系统中镍研究述评. 西南农业学报, 1996, 9(4): 109-115
- [10] 龚子同. 土壤地球化学的进展和应用. 北京: 中国科学出版社, 1985
- [11] 郑袁明, 陈同斌, 陈煌, 吴泓涛, 周建利, 罗金发, 黄泽春. 北京市近郊区土壤镍的空间结构及分布特征. 地理学报, 2003, 58(3): 470-476
- [12] 廖金凤. 海南省土壤中的镍. 中山大学学报(自然科学版), 1998, 37(2): 16-19
- [13] 国家环境保护局南京环境科学研究所. 土壤环境质量标准(GB15618-1995). 北京: 中国标准出版社, 1995

Ni Contents in Farmland Soils of Hebei Province

MA Jian-jun, ZHU Jing-tao, LIU Yu-yan, YU Feng-ming, DU Bin

(Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract: Ni contents in the soil tillage layers and in the soil profiles of four main soil types in Hebei province were determined. The results showed that the content of Ni ranged from 8.62 to 94.77 mg/kg, with a mean content of 26.48 mg/kg, and the highest frequency of Ni content ranged from 20 to 30 mg/kg. There was an increasing tendency of Ni content from north to south and from west to east. The order of mean Ni content of four main soil types was: Brown soil > Fluvo-aquic soil > Cinnamon soil > Chestnut soil. Ni contents of the subsoils were higher than those of the topsoils within the four soil types, but the differences were not significant. There was no significant correlation between Ni content and soil pH value, soil total salt content and soil organic matter content.

Key words: Hebei Province, Farmland soil, Ni