

新疆伊犁州农用土壤中 Cu 和 Zn 的含量分布

杨景娜¹, 黄青青¹, 范荣霞², 李花粉^{1*}, 罗新湖², 宋萍², 乔玉辉¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 新疆伊犁州农业技术推广总站, 新疆 伊宁 835000)

摘要: 调查研究了新疆伊犁州土壤中 Cu 和 Zn 的含量水平, 为该地区绿色食品和有机食品的基地建设提供指导。在新疆伊犁州 8 县采集了 600 个农用表层土壤样品, 应用 AAS 分析测定了土壤样品中 Cu 和 Zn 含量。结果表明, 采集的伊犁州农用土壤中 Cu 和 Zn 的平均含量分别为 28.68、83.17 mg·kg⁻¹, 范围值分别为 11.07~59.90、39.58~160.40 mg·kg⁻¹, 其中 Cu 约有 85% 的数据分布在 20~40 mg·kg⁻¹ 之间; Zn 有 90% 分布在 60~110 mg·kg⁻¹ 之间。另外, 8 县中特克斯县土壤中的 Cu 含量普遍较其他县高; 而 Zn 在 8 县的差异不大。所有检测的土样样品中 Cu 和 Zn 的含量均没有超过国家土壤环境质量标准中二级标准(GB 15618—1995), 但是 Cu 和 Zn 含量均值比伊犁州背景值分别增高了 7% 和 21%。此外, 伊犁州土壤中 Cu 和 Zn 的含量水平均符合我国有机产品标准(GB/T 19630—2011)和绿色食品产地环境质量标准(NY/T 391—2013)对产地环境的要求。

关键词: 伊犁州; 农用土壤; 铜; 锌; 空间分布

中图分类号: X825 文献标志码: A 文章编号: 2095-6819(2015)01-0008-06 doi: 10.13254/j.jare.2014.0231

Analysis on Cu and Zn Concentrations in Agricultural Soils of Ili District, Xinjiang Autonomous Region, China

YANG Jing-na¹, HUANG Qing-qing¹, FAN Rong-xia², LI Hua-fen^{1*}, LUO Xin-hu², SONG Ping², QIAO Yu-hui¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Ili Agro-Tech Extension and Service Center, Yining 835000, China)

Abstract: The aim of this work is mainly to investigate the contents of copper (Cu) and zinc (Zn) in agricultural soils to provide basic information for the establishment of green and organic production base in Ili District, Xinjiang Autonomous Region. 600 topsoil samples of the agricultural land were collected from eight counties of Ili District, and the contents of Cu and Zn were determined by AAS after microwave digestion. The statistics analysis showed that the mean contents of Cu and Zn in the agricultural soils of Ili District were 28.68 mg·kg⁻¹ and 83.17 mg·kg⁻¹, respectively. The concentrations of Cu in the agricultural soils of Ili District ranged from 11.07 mg·kg⁻¹ to 59.90 mg·kg⁻¹, 85% of which ranged from 20 mg·kg⁻¹ to 40 mg·kg⁻¹; and the concentrations of Zn in the agricultural soils of Ili District ranged from 39.58 mg·kg⁻¹ to 160.40 mg·kg⁻¹, 90% of which ranged from 60 mg·kg⁻¹ to 110 mg·kg⁻¹. Furthermore, compared the Cu and Zn contents of the tested soils among the eight counties, Cu contents in Tekes County were higher than other counties, while Zn contents showed little difference. The contents of Cu and Zn in the tested soils were all below the threshold values that were established in the national environmental quality standard for soils (secondary standards, GB 15618—1995), but about 7% and 21% were higher than the Cu and Zn background values of soil in Ili District, respectively. Furthermore, the concentrations of Cu and Zn in soils of Ili District accord with the environmental requirements for organic and green production base regulated by national standard of organic products (GB/T 19630—2011) and industrial standard of green food (NY/T 391—2013).

Keywords: Ili District; agricultural soils; copper; zinc; spatial distribution

土壤环境质量的优劣直接影响着人类的生产、生活和发展, 然而工业化和农业现代化的迅速发展, 使

越来越多的污染物累积到土壤环境中, 农田土壤中重金属的累积已经引起越来越多的公众关注^[1-5]。重金属可以通过多种途径进入土壤, 工业产生的三废, 可通过大气沉降、污灌、污泥农用途径进入土壤^[2, 6-9]; 农业生产中化肥、有机肥和农药的不合理施用, 可不同程度污染农田生态系统^[10-11]。重金属在土壤中的累积可以通过食物链在生物体内富集, 最终可能危害人体健康^[12]。Cu 和 Zn 虽然是植物和人体必需的营养元素,

收稿日期: 2014-09-17

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAC15B05); 公益性行业(农业)科研专项(200903015); 国家科技支撑计划项目(2008BADA4B01)

作者简介: 杨景娜(1984—), 女, 河北石家庄人, 硕士, 研究方向为环境监测与评价。E-mail: yjn841102@163.com

* 通信作者: 李花粉 E-mail: lihuafen@cau.edu.cn

但是超过一定的限值也会对植物和人体产生危害^[13]。Cu 和 Zn 作为饲料添加剂在饲料生产中的广泛使用,使有机肥料中的 Cu、Zn 含量明显增加,并随着肥料的施入在农田中积累^[11,14]。Cu 和 Zn 很容易在土壤中累积并在农产品中富集,通过食物链在动物及人体内富集,影响人体健康。

伊犁州作为新疆乃至西部重要的生态农林牧资源基地,是发展生态产业基地的最佳区域之一。然而作为绿色食品和有机食品的生产基地,其产地环境条件必须符合标准的要求,因此对该地区的环境评价是必不可少的,而土壤环境是评价的重要环节之一。本研究对新疆伊犁州的农用土壤重金属含量进行了取样分析,并进行了质量评价,研究结果有助于了解伊犁州土壤中 Cu 和 Zn 的含量水平,为该地区绿色食品和有机食品的基地建设提供指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

伊犁哈萨克自治州位于祖国西北边陲,新疆西部,三山环抱。伊犁河谷年有效积温达 3 170~4 100 °C,日照可达 2 820 h,地理坐标为东经 81°26′~81°37′,北纬 43°49′~43°53′。据全国第二次土壤普查结果伊犁河谷土壤类型主要有:潮土、灌耕土、草甸土、沼泽土、黑钙土、灌耕黑钙土、栗钙土等,且土壤呈现“两高”“一厚”“微碱性”的特点,“两高”指有机质含量高、速效钾含量高;“一厚”指土层厚,一般>1 m;“微碱性”指土壤 pH 值中偏微碱,范围为 7.3~8.4 之间。

1.2 样品采集与分析

考虑地形地貌、土壤类型、植被类型及空间均匀性与代表性等因素,依据绿色食品产地环境技术条件(NY/T 391—2013)中的相关规定,对伊犁州耕地土壤进行了布点采样。在全州 8 个县共设置采样点 600 个,较均匀地分布于各县所辖乡镇的自然村,平均每个村采样 1~2 个,各乡平均 10~20 个样,样点分布图见图 1。采样选择有代表性的田块,5~10 点混合,采样深度为 0~20 cm 表土层。

土壤样品自然风干,剔除样品中植物根系,用木棍碾碎,先过 60 目筛,之后样品通过四分法分取其中一部分,用研钵研磨过 100 目尼龙网筛,样品存放于自封袋中待测,整个过程避免与含重金属元素的物品接触。样品通过王水(HCl:HNO₃=3:1)浸泡过夜,之后微波消解(美国 CEM 公司, MARS5)。消解液用火焰-原子吸收分光光度计(TAS-990)进行浓度测定,测定方法 Cu、Zn 的检出限分别为 0.006 mg·L⁻¹ 和 0.002 mg·L⁻¹。样品消解过程中使用的各种酸均为优级纯,分析过程加入空白及国家土壤标准样品 GSBZ 50011-88(ESS-1)进行分析质量控制,分析过程中 Cu 和 Zn 回收率分别达到 95%~110%和 90%~118%。

1.3 数据处理与评价标准

测定数据用 Excel 进行分析,采用 Sigmaplot 软件进行图表的制作,同时为了进一步对重金属含量、重金属空间结构特征进行分析,采用重金属半方差函数模型和普通克里格插值法,借助 ArcGIS9.2 软件绘制土壤中 Cu 和 Zn 含量的克里格插值图。

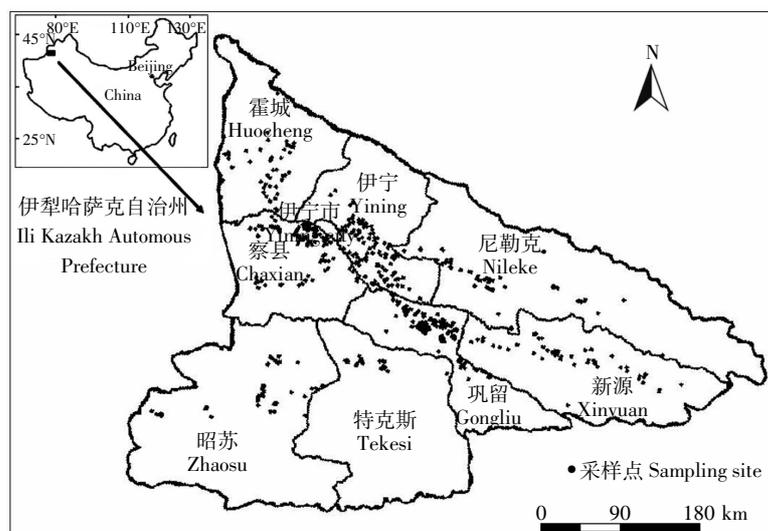


图 1 新疆伊犁州农用土壤采样点分布示意图

Figure 1 Distribution of the sampling sites in Ili District, Xinjiang

本研究的目的是评价新疆伊犁州的土壤环境是否符合我国绿色食品和有机食品对产地环境的要求,因此本文采用 2013 年农业部颁布的“绿色食品产地环境技术条件”(NY/T 391—2013)以及 2011 年国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会颁布的“中国有机产品标准”(GB/T 19630—2011)中的要求进行评价。按照中国有机产品标准的要求,有机产品的产地环境质量应符合国家环境保护总局 1995 年颁布的“土壤环境质量标准”(GB 15618—1995)中的二级标准。绿色食品和有机食品的产地土壤环境评价标准见表 1。由于伊犁州土壤 pH 值中偏微碱,范围为 7.3~8.4 之间,因此评价时参考 pH 6.5~7.5 规定的限值。

表 1 土壤重金属含量评价标准(mg·kg⁻¹)

Table 1 Standards for evaluating soil element contents in agricultural soils (mg·kg⁻¹)

元素	有机食品产地标准 (GB 15618—2011)			绿色食品产地标准 (NY/T 391—2013)		
	pH<6.5	6.5<pH<7.5	pH>7.5	pH<6.5	6.5<pH<7.5	pH>7.5
Cu	50	100	100	50	60	60
Zn	200	250	300	—	—	—

2 结果与讨论

2.1 伊犁州土壤 Cu 和 Zn 含量统计

伊犁州土壤 Cu 和 Zn 含量统计分析见表 2。由表 2 可以看出,新疆伊犁州土壤中的 Cu、Zn 含量范围分别为 11.07~59.90 mg·kg⁻¹ 和 39.58~160.40 mg·kg⁻¹,平均值分别为 28.68 mg·kg⁻¹ 和 83.17 mg·kg⁻¹。与表 1 中

的评价标准相比,所有采样点的 Cu 和 Zn 含量均符合我国有机食品和绿色食品对产地环境的要求。由于新疆伊犁河谷重工业企业较少,基本上没有大的污染源,空气质量、水质质量均符合国家相应的质量标准,农药、化肥的使用量也低于国家标准^[15]。因此土壤的分析结果也表明该地区土壤中 Cu 和 Zn 含量均没有超过标准规定的限值。

但是与我们国家 20 世纪 80 年代新疆土壤 Cu、Zn 元素背景值相比较^[16],土壤中的 Cu、Zn 的平均含量均有所增加,分别增加了 7%和 21%。变异系数是反映样品变异程度的一个统计量,能在一定程度上反映样品受人为影响的程度,从变异系数来看(表 2)Cu 元素的变异系数比 Zn 高,达到 30.07%,Zn 为 19.71%。以上分析表明,在人为活动的影响下,伊犁州土壤中 Cu 和 Zn 已经存在一定程度的累积,但是污染风险相对较小。

伊犁州全州土壤中 Cu、Zn 含量的频数分布图见图 2。全州土壤 Cu、Zn 含量 Sigmaplot 盒状图见图 3。由图 2 及图 3 可以看出,新疆伊犁州土壤中的 Cu、Zn 含量盒状图与频数分布图呈现出相同的规律。土壤中 Cu 的含量约有 85%的数据分布在 20~40 mg·kg⁻¹ 之间;同时土壤中的 Zn 含量有 90%分布在 60~110 mg·kg⁻¹ 之间。

2.2 伊犁州 8 个县元素含量特征

伊犁州 8 个县土壤中 Cu、Zn 含量统计分析见表 3 和表 4。伊犁州 8 个县的自然环境包括海拔、气候、植被等都有各自的特点,土壤的性质受各种因素的影

表 2 伊犁州土壤 Cu 和 Zn 含量统计分析(mg·kg⁻¹)

Table 2 Statistical analysis of Cu and Zn contents in the agricultural soils of Ili District (mg·kg⁻¹)

元素	平均值	标准差	偏度	峰度	变异系数 /%	最小值	最大值	10%值	25%值	50%值	75%值	90%值
Cu 测定值	28.68	8.62	1.41	3.36	30.07	11.07	59.90	19.92	23.54	27.30	32.93	39.58
Cu 背景值 ^[16]	26.7	—	—	—	—	6.4	78.4	14.5	19.9	25.5	32.7	39.0
Zn 测定值	83.17	16.39	0.50	1.09	19.71	39.58	160.40	63.25	72.23	82.23	94.75	105.72
Zn 背景值 ^[16]	68.80	—	—	—	—	21.5	153.5	37.9	55.0	66.9	80.4	91.7

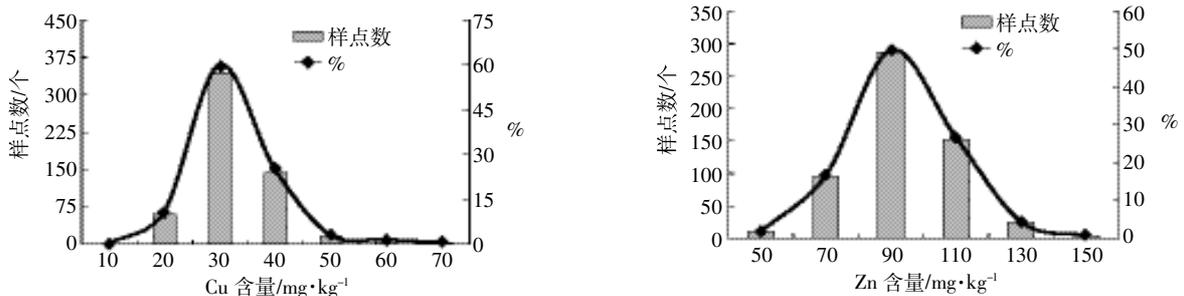
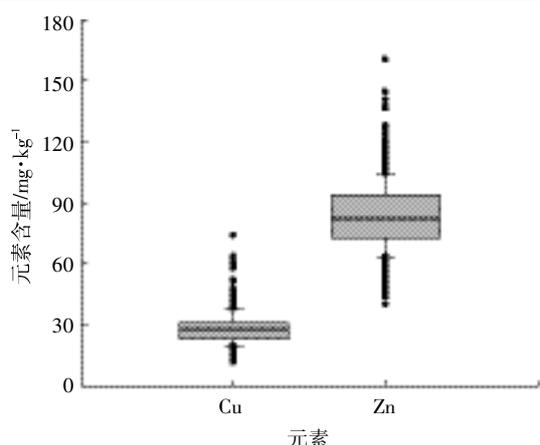


图 2 伊犁州土壤 Cu、Zn 含量统计

Figure 2 Statistics of Cu and Zn contents in the agricultural soils of Ili District



盒状图中盒的下线为 25% 的含量线,中间线为中位值,上线为 75% 的含量值;虚线代表平均值;误差线分别代表 10%、90% 含量;点图代表位于 10% 和 90% 含量值以外的点。下同
lower, middle and upper lines in the box represent 25%, 50% and 75% value, respectively; dashed line represents mean value; error lines represent 10% and 90% value; dots represent the values out of 10% and 90% values. The same below

图 3 伊犁州土壤 Cu、Zn 含量分布

Figure 3 Distribution of Cu and Zn contents in the agricultural soils of Ili District

响也有所差异,土壤中的重金属元素的含量分布也有所不同。8 个县中特克斯县土壤中 Cu 的平均含量最高,霍城县最低,最大值出现在尼勒克县。而 Zn 的平均含量伊宁县最高,察县最低。从各个县的检测分析

结果来看,伊犁州 8 个县土壤中 Cu 和 Zn 的含量均没有超过绿色食品和有机食品产地规定的限值。

然而,各个县中 Cu 和 Zn 平均含量与新疆土壤 Cu 和 Zn 元素背景值相比较各不相同(表 3 和表 4)。其中霍城和巩留土壤中 Cu 的平均含量低于背景值,其余各县均高于背景值,特克斯县土壤中 Cu 的平均含量比背景值高 75%;而 8 个县中 Zn 的平均含量均高于背景值,伊宁县土壤中 Zn 的平均含量比背景值高 33%。由于该地区的灌溉用水和空气质量较好,因此土壤中 Cu 和 Zn 的累积主要是由于农用物质,例如化肥和有机肥的施用^[6,17]以及含铜制剂的使用^[6,14,18]。

虽然各县中土壤 Cu 和 Zn 含量均符合产地环境要求,但是大多高于背景值,表明 Cu 和 Zn 在土壤中产生了累积。

伊犁州 8 个县土壤 Cu、Zn 含量 Sigmaplot 盒状图见图 4。从图 4 可以看出,伊犁州 8 个县土壤中 Cu 的含量特克斯县较其他 7 个县偏高,其次是新源县;8 个县土壤中 Zn 含量差异不大。

2.3 土壤 Cu 和 Zn 元素空间分布特征

克里格插值是对离散变量进行连续无偏插值的可靠方法,插值结果可以直观地呈现出重金属元素的空间分布特征^[19]。根据重金属元素分布形态,利用 Arc-GIS9.2 软件中的地统计模块对 Cu、Zn 2 种元素进行

表 3 伊犁州 8 县土壤 Cu 含量统计表(mg·kg⁻¹)

Table 3 Statistical analysis of Cu content in the agricultural soils of eight counties (mg·kg⁻¹)

县(样本数)	平均值	标准差	偏度	峰度	变异系数 1%	最小值	最大值	10%值	25%值	50%值	75%值	90%值
察县(90)	31.28	4.94	-0.46	1.21	15.78	13.18	42.81	25.23	29.45	32.88	32.97	37.40
霍城(50)	23.45	4.34	-0.16	0.69	18.52	12.15	28.41	16.90	23.10	22.61	26.19	29.80
新源(50)	38.57	5.16	0.33	0.002 9	13.39	28.13	50.72	32.28	35.19	37.40	41.78	45.14
伊宁(100)	27.33	4.61	3.59	24.25	16.85	19.75	37.31	22.35	26.08	26.34	29.35	30.85
尼勒克(119)	26.80	10.16	2.14	6.08	37.91	11.07	59.90	16.99	22.26	24.52	30.06	37.65
巩留(112)	24.43	6.27	1.93	9.70	25.67	13.44	59.30	16.93	20.68	25.13	27.30	29.17
昭苏(53)	27.11	5.36	0.42	0.73	19.76	11.88	40.14	22.02	24.08	25.81	29.29	33.39
特克斯(26)	46.64	9.90	-0.42	-0.67	21.22	23.14	59.77	32.39	39.54	45.93	55.78	58.23

表 4 伊犁州 8 县土壤 Zn 含量统计表(mg·kg⁻¹)

Table 4 Statistical analysis of Zn content in the agricultural soils of eight counties (mg·kg⁻¹)

县(样本数)	平均值	标准差	偏度	峰度	变异系数 1%	最小值	最大值	10%值	25%值	50%值	75%值	90%值
察县(90)	77.71	16.65	0.24	0.12	21.43	39.58	117.38	57.04	63.25	71.88	84.63	100.80
霍城(50)	82.64	20.37	0.77	1.50	24.65	44.20	144.40	56.22	69.09	75.66	93.51	108.13
新源(50)	88.26	14.99	-1.03	1.99	16.99	47.63	118.72	53.18	83.21	89.00	96.74	105.59
伊宁(100)	92.73	17.60	0.74	1.54	18.98	54.80	160.40	71.77	77.40	89.13	102.36	113.62
尼勒克(119)	82.43	12.91	0.41	-0.53	15.66	58.38	114.15	66.55	73.09	79.47	91.85	101.87
巩留(112)	77.78	12.45	0.48	1.39	16.00	49.30	123.85	60.85	69.78	77.60	83.86	91.83
昭苏(53)	84.97	14.98	0.31	-0.089	17.63	48.92	126.59	67.20	74.23	79.21	97.44	100.20
特克斯(26)	79.04	18.71	0.69	-0.23	23.67	53.76	122.60	55.36	63.99	69.72	86.72	97.72

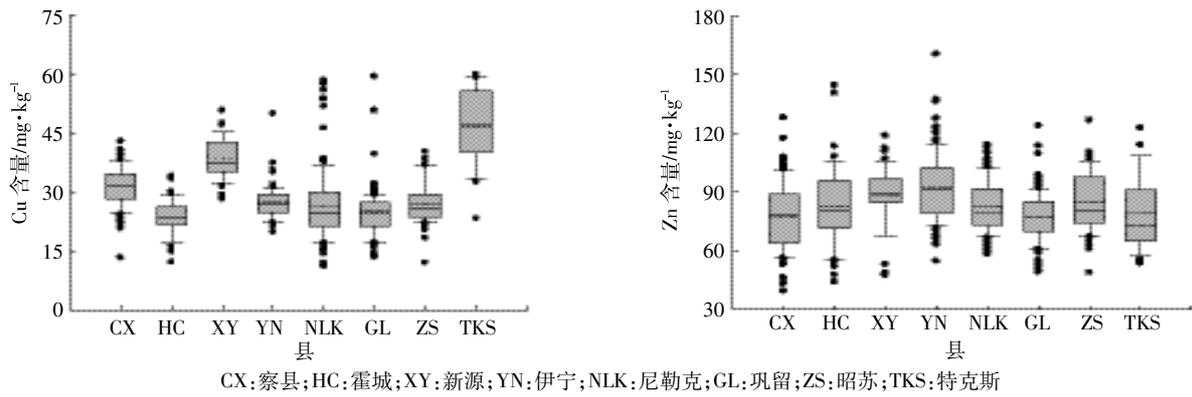


图 4 伊犁州 8 个县土壤 Cu、Zn 含量分布情况

Figure 4 Distribution of Cu and Zn contents in the agricultural soils of eight counties

普通克里格插值, 最后得到伊犁州土壤中 Cu、Zn 含量的空间分布图见图 5 和图 6。从图中可以看出伊犁

州土壤中的 Cu、Zn 含量在各县的差异较大, Cu 含量较高的 2 个县为特克斯与新源县; Zn 在全州的分布

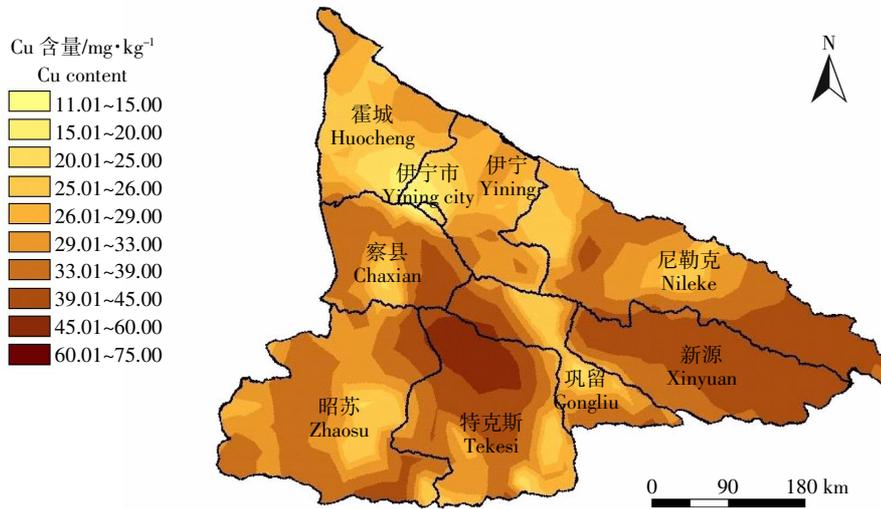


图 5 伊犁州土壤 Cu 含量空间分布情况

Figure 5 Spatial distribution of Cu content in the agricultural soils of Ili District

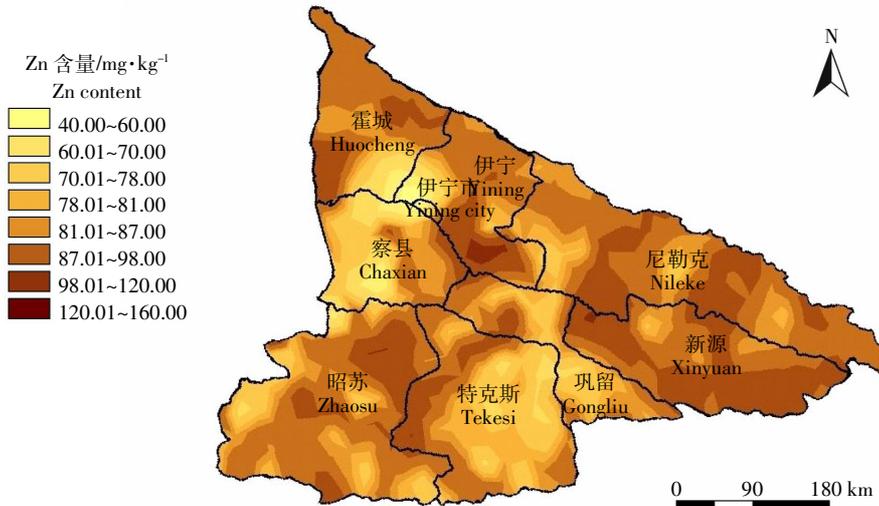


图 6 伊犁州土壤 Zn 含量空间分布情况

Figure 6 Spatial distribution of Zn content in the agricultural soils of Ili District

差异不大,这与以上分析结果一致。

3 结论

(1)新疆伊犁州8个县的农用土壤中Cu、Zn含量均符合绿色食品产地环境技术条件以及中国有机产品的产地环境质量要求。所有采样点土壤中Cu、Zn含量均没有发现超标现象,该地区土壤中的Cu、Zn含量环境污染风险不大。

(2)虽然土壤中Cu、Zn含量没有发现超标现象,但是与该地区20世纪80年代的土壤背景值相比,有上升的趋势,Cu和Zn的算术均值分别升高了7%和21%。

参考文献:

- [1] 岳子明, 李晓秀, 高晓晶. 北京通州区土壤环境质量模糊综合评价[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1402-1405.
YUE Zi-ming, LI Xiao-xiu, GAO Xiao-jing. Fuzzy comprehensive assessment on soil environment of Tongzhou in Beijing[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(4): 1402-1405. (in Chinese)
- [2] Chen T B, Zheng Y M, Lei M, et al. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China[J]. *Chemosphere*, 2005, 60(4): 542-551.
- [3] Abrahams P W. Soils: their implications to human health[J]. *Science of the Total Environment*, 2002, 291(1-3): 1-32.
- [4] 贾琳, 杨林生, 欧阳竹, 等. 典型农业区农田土壤重金属潜在生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2270-2276.
JIA Lin, YANG Lin-sheng, OUYANG Zhu, et al. Assessment of the potential ecological risk of heavy metals in the farmland soils in Yucheng City, Shandong Province[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(11): 2270-2276. (in Chinese)
- [5] Micó C, Recatalá L, Peris M, et al. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis[J]. *Chemosphere*, 2006, 65(5): 863-872.
- [6] Nicholson F A, Smith S R, Alloway B J, et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. *Science of the Total Environment*, 2003, 311(1-3): 205-219.
- [7] Facchinelli A, Sacchi E, Mallen L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils[J]. *Environmental Pollution*, 2001, 114(3): 313-324.
- [8] 姜勇, 梁文举, 张玉革, 等. 污灌对土壤重金属环境容量及水稻生长的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 124-127.
JIANG Yong, LIANG Wen-ju, ZHANG Yu-ge, et al. Influence of wastewater irrigation on environmental capacity of soil heavy metals and rice growth[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(3): 124-127. (in Chinese)
- [9] 孟凡祥, 李琪, 闻大中. 金属加工厂附近农田土壤锌污染的地统计学分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2005, 21(4): 367-370.
MENG Fan-xiang, LI Qi, WEN Da-zhong, et al. Geostatistical analysis of soil zinc contamination in the vicinity of a metal-processing manufacturer[J]. *Journal of Shenyang Architectural and Civil Engineering Institute*, 2005, 21(4): 367-370. (in Chinese)
- [10] Huang S S, Liao Q L, Hua M, et al. Survey of heavy metal pollution and assessment of agricultural soil in Yangzhong district, Jiangsu Province, China[J]. *Chemosphere*, 2007, 67(11): 2148-2155.
- [11] 姜萍, 金盛杨, 郝秀珍, 等. 重金属在猪饲料-粪便-土壤-蔬菜中的分布特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(5): 942-947.
JIANG Ping, JIN Sheng-yang, HAO Xiu-zhen, et al. Distribution characteristics of heavy metals in feeds, pig manures, soils and vegetables[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(5): 942-947. (in Chinese)
- [12] Mclaughlin M J, Parker D R, Clarke J M. Metals and micronutrients-food safety issues[J]. *Field Crops Research*, 1999, 60(1-2): 143-163.
- [13] Taylor M P, Mackay A K, Hudson-Edwards K A, et al. Soil Cd, Cu, Pb and Zn contaminants around Mount Isa city, Queensland, Australia: Potential sources and risks to human health[J]. *Applied Geochemistry*, 2010, 25(6): 841-855.
- [14] 刘荣乐, 李书田, 王秀斌, 等. 我国商品有机肥料和有机废弃物中重金属的含量状况与分析[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 392-397.
LIU Rong-le, LI Shu-tian, WANG Xiu-bin, et al. Contents of heavy metals in commercial organic fertilizers and organic wastes[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(2): 392-397. (in Chinese)
- [15] 孟凡乔, 叶晨, 焦子伟, 等. 伊犁地区绿色食品和有机农产品生产现状、问题辨识与对策分析[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(S3): 83-88.
MENG Fan-qiao, YE Chen, JIAO Zi-wei, et al. The current production status, problem recognition and countermeasure analysis for green food and agricultural products of Ili District[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45(S3): 83-88. (in Chinese)
- [16] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
China National Environmental Monitoring Centre. Soil background contents of elements in China[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990. (in Chinese)
- [17] 李双异, 刘赫, 汪景宽. 长期定位施肥对棕壤重金属全量及其有效性影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(6): 1125-1129.
LI Shuang-yi, LIU He, WANG Jing-kuan. Effects of long-term located fertilization on heavy metals and their availability in brown earth[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(6): 1125-1129. (in Chinese)
- [18] Chen T B, Wong J W C, Zhou H Y, et al. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong[J]. *Environmental Pollution*, 1997, 96(1): 61-68.
- [19] 汤国安. 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
TANG Guo-an. GIS spatial analysis experiments tutorial[M]. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese)