

黑龙江省水稻土壤污染现状分析与评价

姜 辉¹, 王 粟², 史风梅², 裴占江², 高亚冰²

(1. 黑龙江省农业科学院, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 农村能源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:黑龙江省是我国稻米主产区之一, 水稻田土壤质量关乎国计民生, 对黑龙江稻米产区的水稻土中的砷(As)、镉(Cd)、钴(Co)、汞(Hg)、镍(Ni)、锰(Mn) 6 种重金属元素, 以及 666 总量(HCH)、滴滴涕总量(DDT)等的污染情况进行了调查和分析, 并利用 Spass 软件和 Excel 对土壤质量进行评价。结果表明: 研究区域内无机和有机污染物平均含量均较低, 但其空间分布具有一定差异, 各元素平均单因子污染指数均小于 1, 属于未污染, 黑龙江省的水稻田土壤质量总体状况良好。双鸭山、佳木斯、鸡西市所属的三江平原和兴凯平原一带, 因开矿和污水灌溉, 存在重金属污染的风险, 违禁农药的施用也导致部分水稻田里土壤 DDT 和 HCH 存在残留。

关键词: 分析; 评价; 水稻土壤; 土壤污染; 土壤质量

中图分类号: S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2016)04-0031-04 DOI: 10.11942/j.issn1002-2767.2016.04.0031

随着人类活动范围的扩大, 耕种技术的转变, 农药及化肥的施用, 大量的污染物质被引入到农田土壤中, 导致土壤质量下降, 引起土壤污染^[1-3]。在众多污染物质中, 重金属如铅、镉、汞以及有机物如滴滴涕(DDT)和(666)在环境中可以长时间存在并能对生物和人类产生危害而得到国内外研究者的关注^[4-6]。采用被污染的水或污水长期灌溉农田导致土壤重金属的含量升高, 农田土壤重金属的污染水平和环境风险与污灌年限以及与污染源的距离呈正相关的关系^[7-8]。化学肥料同样会造成农田土壤重金属污染, 如有研究表明, 长期使用化肥和农药等, 可大幅度地提高土壤中重金属和有机物的含量^[9-10]。近年来, 因水稻田污染造成的稻米污染事件时有发生。虽然我国有关水稻田土壤质量的研究逐渐展开, 但多数集中在旱田和广东、广西、湖南、沈阳污灌区的水稻田的污染调查、土壤修复技术的研究和开发方面。调查显示, 在我国污灌区 64.8% 的土地已经被重金属污染, 其中轻度污染占 46.7%, 中度污染占 9.7%, 严重污染占 8.4%, 每年约有 1 200 万 t 的粮食被重金属污染^[11-14]。滴滴涕 DDT 和 666 是有效的杀虫剂, 虽然被禁用多年, 但在土壤中仍有

残留^[15]。

对于黑龙江省水稻田重金属以及 DDT 和 HCH 的污染情况, 缺乏全面、翔实、系统的调查和分析。而水稻是黑龙江省主要的粮食作物之一。如图 1 所示, 黑龙江省的水稻种植面积呈连年上升的趋势。至 2014 年, 全省水稻田的面积已经突破 400 万 hm^2 , 成为全国最大的水稻种植区之一^[16-17]。对黑龙江省的水稻田开展污染调查就显得尤为迫切和必要。因此, 本文对黑龙江省稻米主产区的重金属进行调查, 可为黑龙江省的水稻种植以及水稻田土壤的修复提供数据支持。

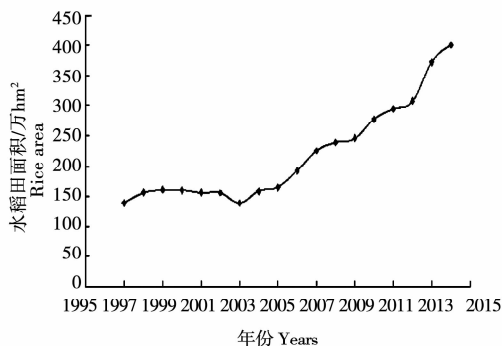


图 1 黑龙江省水稻田面积变化(1997-2014)

Fig. 1 Rice area change of Heilongjiang province

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验于 2014 年进行, 该研究的土壤采样点设置在黑龙江稻米的主产区三江平原和松嫩平原。三江平原位于黑龙江的东北部, $\text{N}45^\circ 01' \sim$

收稿日期: 2016-01-13

基金项目: 农业部 2015 行业专项—大中型畜禽养殖场环境监测资助项目(3-038)

第一作者简介: 姜辉(1981-), 男, 黑龙江省哈尔滨市人, 硕士, 助理研究员, 从事耕作栽培研究。E-mail: jianghui0501@163.com。

48°27′56″,E130°13′~135°05′26″,位于中国东北部,占地面积 5.13 万 km²。而松嫩平原位于黑龙江省西南部,南至松辽分水岭,北与小兴安岭山脉相连,东西两面分别与东部山地和大兴安岭接壤,占全省总面积的 21.61%。

1.2 样品采集及制备

在地图上选定典型采样区域,野外实地考察后,采用分块随机和系统随机相结合的方法于研究区域的水稻农田布设点位共 150 个。

采集样点耕层土壤(0~20 cm),采样时利用多点混合法,在其周边采集多个子样品混合称装,尽量避免在路边和沟边等特殊地形上取样,去除土壤中较大的沙粒及夹带的作物根系,放入通气的塑料袋中,于 0~4℃ 下保存,同时进行样品和

周围环境等信息的记录。
在风干室内将采取的土壤进行压碎、翻动,拣出杂质。随后混匀,用四分法取压碎样 100、50、10 g 样品,过孔径 20 目、60 目、200 目尼龙筛,装入密封袋待测。

1.3 分析方法

根据试验,对土壤中无机污染物:砷(As)、镉(Cd)、钴(Co)、汞(Hg)、镍(Ni)、锰(Mn)6 种重金属元素,以及 666 总量(HCH)、滴滴涕总量(DDT)2 种有机污染物,根据国家 GB15618—1995 土壤环境质量标准对样品进行检测分析,配制不同比例标准溶液组,每批样品至少制备 2 个以上空白溶液。分析方法及仪器见表 1。试验数据采用 SPSS 19.0、Excel 2007 进行统计和分析。

表 1 土壤样品各元素检测分析方法
Table 1 Test method of each element in soil samples

项目 Items	处理方法 Treatment methods	检测仪器 Detection instrument	检测方法 Detection methods
As	HNO ₃ —H ₂ SO ₄ —HCl—NaBH ₄	分光光度计	氢化物发生原子吸收光谱法
Cd	王水—H ₂ O ₂	原子吸收光谱仪	石墨炉原子吸收分光光度法
Co	王水—HClO ₄	原子吸收光谱仪	火焰原子吸收分光光度法
Hg	V ₂ O ₅ —HNO ₃ —H ₂ SO ₄ —SnCl·H ₂ O	测汞仪	冷原子吸收法
Ni	王水—HClO ₄	原子吸收光谱仪	火焰原子吸收分光光度法
Mn	王水—HClO ₄	原子吸收光谱仪	火焰原子吸收分光光度法
HCH	C ₃ H ₆ O—石油醚—H ₂ SO ₄	气相色谱仪	电子捕获气相色谱法
DDT	C ₃ H ₆ O—石油醚—H ₂ SO ₄	气相色谱仪	电子捕获气相色谱法

1.4 评价方法与标准

评价方法依据《全国土壤污染状况调查评价技术规定》(试行),采用单因子污染指数法和内梅罗(Nemerow)综合污染指数法。评价标准以 GB15618-1995 土壤环境质量标准中的二级标准对该地区农田耕层土壤进行评价。土壤环境质量单项污染指数计算公式:

$$P_{ip}=C_i/S_{ip}$$

式中: P_{ip} 为土壤中某污染物的单项污染指数; C_i 为样点土壤中污染物的测值; S_{ip} 为污染物的评价标准。根据单项污染指数大小,对土壤中污染物的污染程度进行分级,共分为四级(见表 2)。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性状分析

研究区域水稻田耕层土壤理化性质见表 3,平均 pH 为 6.103,属于弱酸性,其范围为

4.178~9.069,标准差为 0.061,说明研究区域内

表 2 土壤污染指数评价标准
Table 2 Soil quality grading standard based on pollution indices

单因子污染指数评价分级 Pollution index evaluation of single factor		
分级 Grades	污染指数 Pollution index	污染等级 Pollution level
I	$P_{ip} \leq 1$	无污染(清洁)
II	$1 < P_{ip} \leq 2$	轻度污染
III	$2 < P_{ip} \leq 5$	中度污染
IV	$P_{ip} > 5$	重度污染

仅有个别样点存在一定差异。土壤中有机质含量较高,所占比例为 4.617%,最高达 10.098%;土壤中全磷平均含量所占平均比例为 0.087%,全

氮为 0.227%，平均含量所占比例相对较低，这可能是由于水稻耕作种植过程中水淋溶造成的，或是氮肥施用较少所致，而全钾含量所占比例相对较高，为 1.989%，其主要原因可能是大量钾肥施用导致含量升高。

2.2 土壤污染元素含量分析

由表 4 可知，土壤无机重金属各元素平均含量分别为：As 8.006 mg·kg⁻¹，Cd 0.100 mg·kg⁻¹，Co 11.491 mg·kg⁻¹，Mn 566.058 mg·kg⁻¹，Ni 25.447 mg·kg⁻¹，Hg 0.059 mg·kg⁻¹。与全国其它地区相比，其重金属含量相对较低，且均低于土壤背景值。两种有机污染物平均含量分别为：HCH 17.159 μg·kg⁻¹，DDT 14.709 μg·kg⁻¹。

表 4 水稻土壤中有机、无机污染元素含量

Table 4 Organic and inorganic pollution elements content in rice soil							
元素 Element	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	标准差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient	偏度系数 Skewness coefficient	峰态系数 Kurtosis coefficient
As	8.006	2.501	15.802	2.527	0.316	0.419	0.086
Cd	0.100	0.202	0.348	0.495	4.953	1.987	5.808
Co	11.491	2.703	32.401	3.681	0.320	1.816	6.509
Mn	566.058	179.013	2011.003	279.912	0.494	1.864	6.731
Ni	25.447	5.504	75.403	7.713	0.303	2.305	11.314
Hg	0.059	0.009	0.243	0.045	0.763	1.857	3.511
HCH	17.159	2.500	1824.012	139.558	8.133	12.945	168.628
DDT	14.709	0.500	321.104	41.342	2.811	4.915	27.129

变异系数可以反映出各样点元素含量的平均变异程度，变异系数越大，说明受到外界影响越大。本研究中无机重金属元素 Cd 和 Hg 的变异系数相对较大，分别达到了 4.953、0.763；而有机污染物 HCH 含量范围为 2.500~1 824.012 μg·kg⁻¹；DDT 含量范围为 0.500~321.104 μg·kg⁻¹，变异系数也分别达到 HCH 8.133，DDT 2.811，反映出该几种元素的含量在各样点间差异性较大。

水稻土壤各元素中，HCH 的偏度系数最大，达到了 12.945，其次为 DDT 的 4.915，Ni 的 2.305，反映出该三种污染物含量由于个别数值较大样品，造成了总体正态分布密度曲线的对称性呈分布式右偏，而其它样点含量低值相对较多。而该 3 种污染物的峰态系数也最大，HCH 为 168.628，DDT 为 27.129，Ni 为 11.314，反映了 3 种污染物分布的密度曲线呈窄狭峰，峰值附近陡

表 3 水稻田土壤理化性质分析

Table 3 Soil physical and chemicalproterties of rice field

监测项目 Items	pH	全氮/% Total N	全磷/% Total P	全钾/% Total P	有机质/% Organic matter
平均值 Average	6.103	0.227	0.087	1.989	4.617
最小值 Minimum	4.718	0.001	0.027	1.449	0.382
最大值 Maximum	8.069	1.241	0.161	3.519	10.098
标准差 Standard deviation	0.061	0.011	0.002	0.019	0.378

峭程度较大，这说明各样点含量均相对较低，仅有个别样点含量出现高值情况。

2.3 水稻田土壤污染评价

单因子评价是对土壤中某一污染物的污染程度进行评价，由表 5 可知，研究区域各有机及无机物各元素平均单因子污染指数均<1，属于无污染，其从大到小依次为：Ni>Mn>Cd>As>Co>Hg>HCH>DDT，其中 Ni 的平均污染指数最高为 0.636，DDT 平均污染指数最低仅为 0.147。

各元素单因子污染超标样点共 19 个，其中重金属元素 Cd 平均污染指数为 0.330，超标样点 2 个，分别为 1.162 和 1.030，属于轻度污染；Mn 元素超标样点 2 个，属于轻度污染，分别为 1.291 和 1.342；Ni 的平均污染指数最大，达到了 0.636，共 5 个超标样点，均属轻度污染；2 种有机污染元素 HCH 和 DDT 的平均单因子污染指数均相对较

低,但共有 10 个超标样点,可见各样点该元素差异性极大,但污染状况却不容忽视,HCH 超标样点 2 个,其中重度污染样点 1 个,污染指数达到了 17.906;DDT 超标样点达 8 个,其中属轻度污染

的样点 4 个,另有 3 个样点污染指数分别为 2.483、4.921、3.001,属于中度污染,而属重度污染样点 1 个,污染指数达到了 5.165。

表 5 单因子污染评价
Table 5 Pollution evaluation of single factor

监测项目 Monitoring project	As	Cd	Co	Mn	Ni	Hg	HCH	DDT
平均污染指数	0.297	0.330	0.287	0.377	0.636	0.180	0.171	0.147
1<P _{ip} ≤2	-	2	-	2	5	-	1	4
2<P _{ip} ≤5	-	-	-	-	-	-	-	3
P _{ip} >5	-	-	-	-	-	-	1	1

3 结论与讨论

研究表明,研究区域内无机和有机污染物平均含量均较低,但其空间分布具有一定差异;各元素平均单因子污染指数均<1,属于未污染,说明该区域土壤环境质量总体良好,其中 Ni 的平均污染指数最高为 0.636,DDT 指数最低仅为 0.147。

各污染样点主要分布于双鸭山、佳木斯、鸡西所属的三江平原和兴凯平原一带,受 Ni、Mn、Cd 三种金属元素影响的水稻田土壤污染样点可能是由于受几座城市采矿活动的影响,或用含重金属元素污染的废水灌溉造成的。而受 2 种持久性有机污染物影响的土壤,则主要是来自农药残留所致,HCH 和 DDT 残留所造成土壤污染具有明显的持久性,多为农药大量长期的施用,但我国已经于多年前开始禁止对含有该两种有机农药的农田施用,故而除个别样点依然残留部分有机污染物或违规施用,其它多数样点含量均较低;

尽管水稻田土壤环境质量总体良好,但部分区域存在较大潜在污染风险,应针对有机及无机污染物的来源加以控制,加强水稻田的监督与管理,减少并规范采矿活动对周边环境的影响,禁止含有重金属的废水、废渣排放到农田土壤中,同时控制化肥、农药的不合理施用,尽量施用有机肥和生物肥;同时,加强对土壤污染的治理,因地制宜的采取有效方法予以修复,保证土壤环境实现持续有效的科学发展。

参考文献:

[1] 丁芬,蔡伟,刘宪平. 稻米品质影响因素及生产技术措施研究[J]. 农业科技与装备,2014 (10):54-56.
[2] 罗琼,王昆,许靖波,等. 我国稻田镉污染现状·危害·来源及其生产措施[J]. 安徽农业科学, 2014,42(30):10540-10542.
[3] 吴迪,邓 琴,周 超,等. 废弃矿污水灌溉区稻米重金属含量及相关性[J]. 贵州农业科学,2014,42(2):193-197.

[4] 曹宏杰,王立民,罗春雨,等. 三江平原地区农田土壤中几种重金属空间分布状况[J]. 生态与农村环境学报,2014, 30(2): 155-161.
[5] Yong Sik Ok, Adel R. A. Usman, Sang Soo Lee, et al. Effects of rapeseed residue on lead and cadmium availability and uptake by rice plants in heavy metal contaminated paddy soil[J]. Chemosphere,2011,85:677-682.
[6] Zeng Fanrong, Ali Shafaqat, Zhang Haitao, et al. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants[J]. Environmental Pollution ,2011,159: 84-91.
[7] 陈涛, 常庆瑞, 刘京, 等. 长期污灌农田土壤重金属污染及潜在环境风险评价[J]. 农业环境科学学报,2012,31(11): 2152-2159.
[8] Hu Xue feng, Jiang Ying, Shu Ying, et al. Effects of mining wastewater discharges on heavy metal pollution and soil enzyme activity of the paddy fields[J]. Journal of Geochemical Exploration,2014 ,147:139-150.
[9] Taylor M D. Accumulation of cadmium derived from fertilisers innew zealand soils[J]. Science of theTotal Environment,1997,208:123-126.
[10] 宋守鑫. 哈尔滨周边地区土壤中 27 种挥发性有机物的测定[D]. 长春:吉林大学,2013.
[11] Yang Q W, Lan C Y, Wang H B, et al. Cadmium in soil-rice system and health risk associated with the use of untreated mining wastewater for irrigation in Lechang[J]. China. Agric. Water Manag,2006, 84:147-152.
[12] 崔德杰,张玉龙. 土壤重金属污染现状与修复技术研究进展[J]. 土壤通报,2004,35(3):366-370.
[13] 张继舟,王宏韬,倪红伟,等. 我国农田土壤重金属污染现状、成因与诊断方法分析[J]. 土壤与作物,2012,1(4): 212-218.
[14] 郭勇,童艳君. 我国农业土壤重金属污染现状及防治对策[J]. 现代农业科技,2012(18):220-221.
[15] 裴绍峰,刘海月,叶思源. 我国南方主要城市土壤有机氯农药残留及分布特征[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2014,45(5):768-774.
[16] 陈艳红,胡胜德. 黑龙江省稻米产业发展的优势和问题及对策[J]. 农业现代化研究,2014,35(2):158-162.
[17] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 国家统计局,2014.