

连云港市水稻产区土壤重金属分布特征及污染评价^①

韩善红, 王超, 刘晓鹏, 于洋, 徐敏权, 尚庆伟

连云港市农产品质量监督检验测试中心, 江苏 连云港 222001

摘要:为探索连云港市水稻产区绿色优质农产品发展环境条件,依据绿色食品产地土壤环境质量标准,采用单因子污染指数法和综合污染指数法对土壤重金属(镉、汞、砷、铅、铬、铜)污染现状进行了研究。结果表明:重金属镉、汞、砷、铅、铬、铜质量分数均未超过绿色食品产地环境条件土壤重金属质量分数限值,但是东海县和灌云县个别采样点重金属镉、铅单项污染指数接近1;灌南县、赣榆区、市辖区个别采样点重金属铅在0.7~1之间;赣榆区、市辖区个别采样点重金属铜单项污染指数在0.7~1之间。从综合污染指数来看,连云港市水稻产区土壤环境质量评价均为清洁,宜将镉、铅、铜作为日常土壤污染物监测的重点。

关键词:土壤;重金属;分布特征;污染评价

中图分类号: S153

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2021)08-0074-05

土壤是保障我国农业可持续发展至关重要的自然资源,也是生态和环境保护的重要对象。近年来,农业的高度集约化生产伴随着我国工业化、城市化的快速发展^[1],加之大量使用含重金属的农药和除草剂以及畜牧业粪污过量还田等,土壤重金属污染呈加重趋势。土壤是农产品质量安全的重要保障^[2],农田土壤污染和土壤质量下降问题日趋严峻,农产品质量安全受到严重威胁,通过食物链在各个营养级之间传递和富集^[3],不仅对人类健康造成潜在的威胁,还会导致严重的生态问题^[4-5]。土壤作为不可再生资源,社会发展过程中,需要高度重视土壤的作用,尽力保护土地资源^[6]。随着生活水平的提高,人们更加关注农产品的质量,对农产品质量安全的要求不断提高,绿色食品作为一个消费者信赖的品牌,产品土壤环境质量也越来越受到大众的关注,因此土壤重金属质量分数可作为绿色食品产地环境监测中的一项重要指标。由于土壤重金属污染具有隐蔽性、潜伏性、长期性和不可逆性的特点,重金属日益增加对农业和自然生态系统造成较大危害^[7]。目前,国内外学者对土壤的可持续发展已有一些研究,显示土壤重金属已发生不同程度的累积污染,成为危害人类健康的隐形杀手^[8]。为了了解连云港市绿色优质农产品可持续发展和土壤环境质量改善的现状,本文对连云港市水稻产区的土壤重金属分布特征和污染进行了研究。

1 材料与方法

1.1 样品采集

选择连云港市为研究区域,于2018年10~12月采集46个乡镇代表性地块的0~20 cm表层土壤。连云港处于暖温带南部,历年平均降水量达920 mm,常年无霜期为220 d,盛产水稻。对连云港市5个县市区主要水稻产地土壤进行调查和抽检,取样按照《绿色食品 产地环境调查、监测与评价规范》(NY/T 1054—

^① 收稿日期:2019-12-12

基金项目:连云港市科技局项目(SF1412)。

作者简介:韩善红,硕士,农艺师,主要从事农产品质量安全与品牌认证的研究。

通信作者:尚庆伟,高级农艺师。

2013)进行。在水稻生长期內采集土样,在 0~20 cm 耕作层处取土壤样品,根据实际情况采用不同的采样方法,如网格法、梅花法、随机法或者放射法布点,每个水田产地取 3~5 个混合样,共采集 141 个样品。

1.2 评价标准与方法

1.2.1 评价标准

以《绿色食品 产地环境质量》(NY/T 391-2013)中“土壤中各项污染物的质量分数限值”为评价标准(表 1),评价连云港市水田土壤重金属的污染现状。

表 1 产地土壤环境质量标准限值 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

项目	pH<6.5	6.5≤pH≤7.5	pH>7.5
镉(Cd)	≤0.30	≤0.30	≤0.40
汞(Hg)	≤0.25	≤0.30	≤0.35
砷(As)	≤20	≤20	≤15
铅(Pb)	≤50	≤50	≤50
铬(Cr)	≤120	≤120	≤120
铜(Cu)	≤50	≤60	≤60

1.2.2 评价方法

采用单因子污染指数法和综合污染指数法进行现状评价。

1.2.2.1 单因子污染指数评价法

$$P_i = C_i / S_i$$

式中, P_i 为检测项目 i 的污染指数, C_i 为检测项目 i 的实测值, S_i 为检测项目 i 的评价标准值。

如果有一单项污染指数大于 1, 视为该产地环境质量不符合要求, 不适宜发展绿色食品。

1.2.2.2 综合污染指数评价法

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{(C_i/S_i)_{\text{max}}^2 + (C_i/S_i)_{\text{ave}}^2}{2}}$$

式中, $P_{\text{综}}$ 为土壤的综合污染指数, $(C_i/S_i)_{\text{max}}$ 为土壤污染物中污染指数的最大值, $(C_i/S_i)_{\text{ave}}$ 为土壤污染物中污染指数的平均值。

土壤综合污染指数 $P_{\text{综}} \leq 0.7$, 表明土壤处于清洁状态, $0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$, 表明土壤处于尚清洁状态。

2.1 连云港市水田土壤重金属质量分数差异

连云港市稻田土壤重金属质量分数检测结果见表 2。由表 2 可知, 连云港市不同县区稻田土壤中镉、汞、砷、铅、铬、铜平均质量分数均低于《绿色食品 产地环境质量》(NY/T 391-2013)水田土壤环境质量标准限量要求。6 种重金属在不同县区的质量分数存在差异, 不同县区土壤重金属镉质量分数为 0.01~0.29 mg/kg, 均值为 0.13 mg/kg; 重金属镉的平均质量分数表现由多到少依次为东海县, 赣榆区, 市辖区, 灌云县, 灌南县, 其中东海县水田土壤中的镉质量分数样本之间差异最大, 变异系数为 77.03%。不同县区土壤重金属汞质量分数为 0.02~0.20 mg/kg, 均值为 0.11 mg/kg; 重金属汞的平均质量分数表现为东海县、赣榆区与市辖区相同, 其次为灌云县, 灌南县, 其中灌南县水田土壤中的汞质量分数样本之间差异最大, 变异系数为 21.97%。不同县区土壤重金属砷质量分数为 5.20~12.00 mg/kg, 均值为 7.97 mg/kg; 重金属砷的平均质量分数表现由多到少依次为灌南县, 灌云县, 赣榆区, 东海县, 市辖区, 其中赣榆区水田土壤中的砷质量分数样本之间差异最大, 变异系数为 20.15%。不同县区土壤重金属铅质量分数为 17.40~46.00 mg/kg, 均值为 30.22 mg/kg; 重金属铅的平均质量分数表现由多到少依次为市辖区, 东海县, 灌南县, 赣榆区, 灌云县, 其中赣榆区水田土壤中的砷质量分数样本之间差异最大, 变异系数为 26.52%。不同县区土壤重金属铬质量分数为 24.00~75.00 mg/kg, 均值为 44.62 mg/kg; 重金属铬的平均质量分数表现由多到少依次为市辖区, 赣榆区, 灌南县, 东海县, 灌云县, 其中市辖区水田土壤中的铬质量分数样本之间差异最大, 变异系数为 22.10%。不同县区土壤重金属铜质量分数为 23.00~46.00 mg/kg, 均值为 33.60 mg/kg; 重金属铜的平均质量分数表现由多到少依次为市辖区, 东海县, 赣榆区, 灌南县, 灌云县, 其中赣榆区水田土壤中的铜质量分数样本之间差异最大, 变异系数为 17.39%。

表 2 连云港市稻田土壤重金属质量分数检测结果

/(mg·kg⁻¹)

采样地点	样本数	项目	镉	汞	砷	铅	铬	铜
东海县	30	最大值	0.29	0.18	10.00	46.00	50.90	42.00
		最小值	0.01	0.09	5.50	21.00	28.80	29.00
		算数平均数	0.14	0.15	7.64	30.67	35.66	34.57
		标准差	0.11	0.02	1.33	6.98	5.09	4.10
		变异系数/%	77.03	14.25	17.41	22.76	14.28	11.86
灌云县	36	最大值	0.12	0.04	9.75	38.80	75.00	34.00
		最小值	0.08	0.02	6.94	17.40	28.00	25.00
		算数平均数	0.11	0.12	7.85	27.42	31.31	30.56
		标准差	0.09	0.04	1.38	6.90	5.30	3.82
		变异系数/%	0.23	0.10	3.62	18.15	13.95	10.05
灌南县	30	最大值	0.27	0.18	10.00	42.00	42.50	40.00
		最小值	0.01	0.05	5.50	18.00	24.00	24.00
		算数平均数	0.10	0.02	8.25	28.14	50.70	30.57
		标准差	0.01	0.01	0.66	4.01	11.16	2.39
		变异系数/%	11.04	21.97	8.03	14.26	22.01	7.81
赣榆区	27	最大值	0.16	0.18	12.00	39.00	63.90	44.00
		最小值	0.10	0.09	5.50	18.00	38.80	23.00
		算数平均数	0.13	0.15	7.70	27.67	50.79	33.19
		标准差	0.02	0.03	1.55	7.34	7.81	5.77
		变异系数/%	13.39	18.48	20.15	26.52	15.37	17.39
市辖区	18	最大值	0.13	0.20	9.30	42.00	64.90	46.00
		最小值	0.10	0.12	5.20	20.00	29.40	29.00
		算数平均数	0.12	0.15	7.42	31.06	51.76	36.44
		标准差	0.01	0.02	1.41	6.99	11.44	4.84
		变异系数/%	8.08	13.64	18.98	22.51	22.10	13.28

2.2 水田土壤重金属污染评价

以《绿色食品 产地环境质量》(NY/T 391-2013)为评价标准,有一单项污染指数大于 1,即可判定为土壤不合格。单项污染指数评价结果表明(表 3),连云港市不同县区土壤 6 种重金属质量分数水平符合绿色食品生产要求,其中污染程度东海县由大到小依次为铅,铜,镉,汞(砷),铬;灌云县依次为铅,铜,砷,镉,汞,铬;灌南县依次为铅,砷,铜,铬,镉,汞;赣榆区依次为铅(铜),镉,铬,汞(砷);市辖区依次为铅,铜,铬,镉,汞(砷),各县区重金属铅、铜污染较重。就连云港市土壤重金属铅、铜的污染现状,监管部门要引起足够重视,否则会对绿色优质农产品发展造成不良后果。

表 3 以《绿色食品 产地环境质量》(NY/T 391-2013)为评价指标的单项污染指数及综合污染指数

采样地点	项目	$P_{\text{镉}}$	$P_{\text{汞}}$	$P_{\text{砷}}$	$P_{\text{铅}}$	$P_{\text{铬}}$	$P_{\text{铜}}$
东海县	最大值	0.97	0.45	0.50	0.92	0.42	0.70
	最小值	0.04	0.22	0.28	0.42	0.24	0.48
	算数平均数	0.47	0.38	0.38	0.61	0.30	0.58
	$P_{\text{综}}$	0.54					
	标准差	0.36	0.05	0.07	0.14	0.04	0.07
灌云县	变异系数/%	77.08	14.16	17.29	22.76	14.29	11.92
	最大值	0.90	0.45	0.50	0.84	0.35	0.67
	最小值	0.04	0.13	0.28	0.36	0.20	0.40
	算数平均数	0.36	0.31	0.40	0.55	0.26	0.51
	$P_{\text{综}}$	0.48					
	标准差	0.29	0.10	0.07	0.14	0.04	0.06
	变异系数/%	81.50	31.90	17.30	25.16	16.71	12.52

续表 3 表 3 以《绿色食品 产地环境质量》(NY/T 391-2013)为评价指标的单项污染指数及综合污染指数

采样地点	项目	$P_{\text{镉}}$	$P_{\text{汞}}$	$P_{\text{砷}}$	$P_{\text{铅}}$	$P_{\text{铬}}$	$P_{\text{铜}}$
灌南县	最大值	0.30	0.10	0.65	0.78	0.63	0.57
	最小值	0.20	0.05	0.46	0.35	0.23	0.42
	算数平均数	0.25	0.06	0.55	0.56	0.42	0.51
	$P_{\text{综}}$	0.48					
	标准差	0.03	0.01	0.04	0.08	0.09	0.04
	变异系数/%	11.20	21.29	7.99	14.15	22.30	7.85
赣榆区	最大值	0.53	0.45	0.60	0.78	0.53	0.73
	最小值	0.33	0.23	0.28	0.36	0.32	0.38
	算数平均数	0.43	0.39	0.39	0.55	0.42	0.55
	$P_{\text{综}}$	0.50					
	标准差	0.06	0.07	0.08	0.15	0.06	0.10
	变异系数/%	13.34	18.25	19.89	26.52	15.24	17.41
市辖区	最大值	0.43	0.50	0.47	0.84	0.54	0.77
	最小值	0.33	0.30	0.26	0.40	0.25	0.48
	算数平均数	0.40	0.37	0.37	0.62	0.43	0.61
	$P_{\text{综}}$	0.55					
	标准差	0.03	0.05	0.07	0.14	0.09	0.08
	变异系数/%	7.92	13.44	19.05	22.51	21.87	13.40

3 结论与讨论

在监测的 141 个样品中,各县区 6 种重金属镉、汞、砷、铅、铬、铜的质量分数均未超过《绿色食品 产地环境质量》(NY/T 391-2013)土壤重金属质量分数值,适合发展绿色食品. 从综合污染指数来看,连云港市各县区水田土壤环境质量评价均为清洁. 但是东海县和灌云县个别采样点土壤镉、铅单项污染指数接近 1,已接近绿色食品产地污染警戒线;灌南县、赣榆区、市辖区个别采样点重金属铅,赣榆区、市辖区个别采样点重金属铜单项污染指数在 0.7~1 之间,说明土壤受到了重金属的影响.

土壤重金属污染的污染源主要来自工业生产中“三废”的排放,化肥和生长调节剂的施用^[9],污水灌溉,大气降尘,城镇垃圾等. 农产品产地土壤重金属修复可以从物理、化学、植物、动物、微生物等方面来进行. 研究表明连云港地区有部分土壤受到重金属镉和铅的污染,水稻是重要的粮食作物,水稻具有富集镉的习性,吸镉能力极强,很容易造成籽粒镉质量分数超标,镉通过食物链进入人体,能在人体内长期存在,对人体的骨骼、肾脏、肝脏等产生毒害作用^[10]. 铅一旦进入人体就很难排除,能直接伤害人的脑细胞,还有致癌、致突变作用^[11]. 近年来镉大米中毒、血铅中毒等问题是媒体报道的热点^[12],连云港地区个别样品采集点重金属镉、铅质量分数较高,可以研究以减少这两种重金属在土壤中累积为主的措施. 崔晓荧等^[13]研究发现,淹水灌溉可以降低重金属铅、铬、镉在土壤-水稻系统的迁移能力,降低水稻对重金属的吸收. 曹瑞祺等^[14]研究发现,柳树、冬青等是重金属污染比较理想的富集园林植物,且能同时富集 2 种或 2 种以上重金属污染物;王旭旭等^[15]结果表明,榉树、栎树、毛红椿表现出较好的富集与转运能力,可用于铅污染区的治理;康薇等^[16]调查表明,法国冬青、苦楝、梧桐和桂花对铜、镉和铅都具有较强的富集能力,是土壤重金属污染修复的潜力树种. 王俊楠^[17]研究表明,物理客土和换土治理农田重金属的严重污染有效,但会破坏土壤结构,降低土壤肥力. 随着我国经济社会的发展,人们对稻米的品质要求日益提高,重金属污染问题的研究与解决对于农田的可持续利用、作物合理布局和稻米安全具有极其重要的意义^[18],连云港地区要指导农业生产主体减肥控药,严格按照绿色优质农产品要求使用农业投入品,并定期对土壤重金属进行监测,全面了解土壤重金属污染现状^[19],并控制土壤重金属的污染和积累,确保连云港地区绿色优质农产品的健康、可持续发展.

参考文献:

[1] 陈世宝,王 萌,李彬彬,等. 中国农田土壤重金属污染防治现状与问题思考 [J]. 地学前缘,2019,26(6): 35-41.
[2] 王朋朋,孔晨晨,聂超甲,等. 北京市平原区土壤类金属砷质量分数分布特征研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学

版), 2018, 43(5): 131-139.

- [3] 曹瑞祺, 方松林, 曹盼宫. 重金属污染土壤园林植物修复研究进展 [J]. 北方园艺, 2019(16): 145-152.
- [4] 王学军, 席 爽. 北京东郊污灌土壤重金属含量的克立格插值及重金属污染评价 [J]. 中国环境科学, 1997, 17: 225-228.
- [5] 王喜艳, 聂振江. 施用污泥对土壤中重金属含量的影响 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(12): 432-435.
- [6] 秦圣清. 土壤重金属改良剂修复研究进展 [J]. 资源节约与环保, 2019(7): 78, 86.
- [7] 贾中民, 冯汉茹, 鲍丽然, 等. 渝西北土壤重金属分布特征及其风险评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(7): 106-114.
- [8] 李亚娜. 我国农田土壤重金属污染现状分析 [J]. 节能, 2019, 38(7): 118-119.
- [9] 王 济, 王世杰. 土壤中重金属环境污染元素的来源及作物效应 [J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2005, 23(2): 113-120.
- [10] 张玉盛, 肖 欢, 敖和军. 外部条件对水稻镉吸收的影响研究进展 [J]. 作物研究, 2019, 33(4): 331-337.
- [11] 阮 飞, 况红玲, 王 燕, 等. 重金属污染区修复植物研究进展 [J]. 绿色科技, 2015(2): 56-58.
- [12] 宋帅娣. 农产品产地土壤重金属污染问题分析 [J]. 现代农业科技, 2019(15): 185-186, 188.
- [13] 崔晓荧, 秦俊豪, 黎华寿. 不同水分管理模式对水稻生长及重金属迁移特性的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(11): 2177-2184.
- [14] 曹瑞祺, 方松林, 曹盼宫. 重金属污染土壤园林植物修复研究进展 [J]. 北方园艺, 2019(16): 145-152.
- [15] 王旭旭, 黄鑫浩, 胡丰姣, 等. 4 种木本植物对重金属铅、锌的积累及叶片养分含量特征研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(6): 115-122.
- [16] 康 薇, 鲍建国, 郑 进, 等. 湖北铜绿山古铜矿遗址区木本植物对重金属富集能力的分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(1): 78-84.
- [17] 王俊楠. 土壤重金属污染与修复技术研究 [J]. 农家参谋, 2019(15): 8.
- [18] 张玉盛, 肖 欢, 敖和军. 外部条件对水稻镉吸收的影响研究进展 [J]. 作物研究, 2019, 33(4): 331-337.
- [19] 刘朋准. 土壤重金属污染现状及检测技术探究 [J]. 云南化工, 2019, 46(6): 64-65.

On Distribution Characteristics and Pollution Evaluation of Soil Heavy in Rice Producing Areas of Lianyungang

HAN Shan-hong, WANG Chao, LIU Xiao-peng,
YU Yang, XU Min-quan, SHANG Qing-wei

Supervision and Testing Center Quality of Agricultural Products in Lianyungang, Lianyungang Jiangsu 222001, China

Abstract: In order to explore the environmental conditions for the development of green and high-quality agricultural products in the rice-producing areas of Lianyungang, on the based of soil environmental quality standards of green food producing areas, we studied the pollution status of heavy metals(Cd, Hg, As, Pb, Cr, Cu) in soil by single factor pollution index method and comprehensive pollution index method. The results show that the content of Cd, Hg, As, Pb, Cr, Cu did not exceed the limit of soil heavy metal content of green food producing areas. But the individual pollution index of heavy metal Cr and Pb at individual sampling points in Donghai County and Guanyun County was close to 1; The heavy metal Pb in individual sampling points in Guannan County, Ganyu District, and urban district is between 0.7 and 1. The individual pollution index of heavy metal copper at individual sampling points in Ganyu District and municipal districts was between 0.7 and 1. Judging from the comprehensive pollution index, the evaluation of soil environmental quality in rice producing areas in Lianyungang is clean. Therefore, Lianyungang City will focus on Cr, Pb and Cu as the monitoring of daily soil pollutants.

Key words: soil; heavy metal; distribution characteristics; pollution assessment