

张益民, 刘海春. 江苏省仪征市土壤环境质量调查与现状评价[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(7): 416–419, 474.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.07.139

江苏省仪征市土壤环境质量调查与现状评价

张益民¹, 刘海春²

(1. 江苏省扬州市环境监测中心站, 江苏扬州 225007; 2. 扬州市职业大学, 江苏扬州 225009)

摘要:对江苏省仪征市 58 个土壤样品 8 种重金属的单项污染指数、综合污染指数、土壤污染累积指数进行分析。结果表明, 仪征市土壤总体清洁, 8 种重金属的累积指数都小于 1, 都未超出自然背景值; 从超标样品比例看, 土壤中重金属的积累顺序为: $\text{Ni} > \text{Cd} > \text{Cu} > \text{Hg}, \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cr}, \text{As}$; 有 89.66% 的样点污染水平为清洁, 有 5.17% 的样点污染水平为尚清洁, 有 5.17% 的样点污染水平为轻污染。

关键词:仪征市; 土壤; 重金属; 污染; 评价

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)07-0416-04

土壤是人类赖以生存的生态系统。近年来, 随着工业生产的迅猛发展和农药、化肥等各种化学产品的广泛使用, 土壤污染问题日趋严重, 土壤重金属污染尤为突出。重金属污染物难以被微生物降解, 且多数重金属性质稳定, 在土壤中滞留时间相对较长, 对农作物品质、产量有一定影响, 并且可以通过水、植物媒介的传递直接或间接地威胁人类健康。这些重金属容易积累转化为毒性更强的甲基化合物, 甚至可通过食物链的“生物富集效应”严重危害人的身体健康。研究表明, 人体长期摄入铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、铬(Cr)、铜(Cu)、铁(Fe)、锌(Zn)等重金属后, 会引起癌症、骨痛病、肾病等。因此, 开展土壤重金属污染调查, 深入分析其来源、特征, 并对污染进行正确评价, 对于保护人类健康、促进经济可持续发展都具有十分重要的现实意义^[1-5]。江苏省仪征市历来有“鱼米之乡”之称, 位于江苏省中西部, 属北亚热带季风气候区, 年平均气温 15℃, 年平均降水量 1 015 mm, 地势总体呈北高南低之势, 地貌多样, 南部为长江冲积平原, 北部、中部为缓岗丘陵区, 土壤 pH 值为 5.1~7.9(平均值 6.1)。本研究通过对江苏省仪征市 58 个取样点位土壤样品中的 Cd、Hg、砷(As)、Cr、Cu、Pb、Zn、镍(Ni)等 8 种重金属元素含量的分析, 评价相应监测区域的土壤环境质量现状, 完善国家土壤环境质量监测网, 为土壤防治、环境保护及政府宏观政策提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集与处理

2010 年 1 月, 按照 4 km×4 km 网格布点在仪征市加密(按调查的精度可选择 2.5、5.0、10.0、10.0、40.0 km, 网格范围越小点位越密, 越能反映真实情况, 一般对开发利用强度较大的区域实施 4 km×4 km 的网格加密布点)采样, 共计 58

个点位(图 1)。采样时选择 25 cm 左右深度的表层样, 清除土壤表面腐殖质, 用木铲采集。去除砂砾、动物残体、植物根系等异物后, 自然风干, 用四分法弃取, 玛瑙研钵研磨, 过 100 目尼龙筛, 备用。

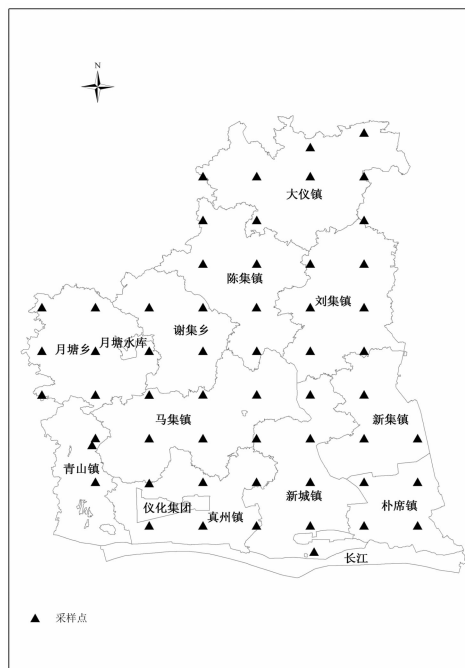


图1 仪征市土壤采样点分布

1.2 土壤微波消解

称取 0.1 g 左右的样品于消解罐中, 加少量超纯水润湿, 依次加入 6 mL 硝酸、2 mL 氢氟酸、2 mL 双氧水, 轻微振荡, 待反应平缓后, 加盖密封于微波消解炉内消解。微波消解条件(6 罐以上): 1.2 kW; 5 min 升至 120℃, 稳定 5 min; 再 8 min 内升至 195℃, 保持 20 min。冷却后将消解罐置于电热板上, 145℃左右赶酸, 近干后用 1% 硝酸定容至 50 mL, 摇匀静置后取上清液备测。

1.3 分析项目与方法

分析项目包括土壤样品中的 Cd、Hg、As、Cr、Cu、Pb、Zn、Ni 等 8 种重金属元素含量, 其中 Cd、Cu、Pb、Zn 含量采用微波

收稿日期: 2015-03-03

基金项目: 江苏省扬州市环保课题(编号: YHK1309)。

作者简介: 张益民(1968—), 女, 江苏南通人, 高级工程师, 主要从事环境监测工作。E-mail: jczfxs001@163.com。

通信作者: 刘海春, 硕士, 教授, 主要从事环境工程生物处理技术研究。E-mail: yzhchliu2006@126.com。

消解—等离子体质谱联用法(ICP-MS)测定;Cr、Ni 含量采用微波消解—等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定;Hg 含量采用热分解齐化原子吸收光度法测定;As 含量采用氢化物发生原子荧光法测定。

1.4 土壤环境质量评价标准与方法

1.4.1 土壤质量评价标准 目前土壤质量评价标准主要有 GB15618—1995《土壤环境质量标准》^[6]、GB18407.1—2001《无公害食品蔬菜产地环境条件》^[7]、NY/T 391—2000《绿色食品产地环境技术条件》^[8]。其中 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》颁布时间较早,要求相对较低,但该标准包含了本研究评价的 8 种金属元素;GB 18407.1—2001《无公害食品蔬菜产地环境条件》要求相对较高,但缺少对 Cu、Zn、Ni 的评

价;NY/T 391—2000《绿色食品产地环境技术条件》要求更严,但缺少对 Zn、Ni 元素的评价。GB 18407.1—2001《无公害食品蔬菜产地环境条件》与 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》的二级标准基本一致,缺少对 Cu、Zn、Ni 元素的评价。综合已有的国家标准和行业标准,根据耕地生产作物的基本要求,本研究的评价标准分为以下 3 级^[9]。一级:优,符合 NY/T 391—2000《绿色食品产地环境技术条件》,该标准中未涉及的 Zn、Ni 元素采用 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准;二级:良,符合 GB18407.1—2001《无公害食品蔬菜产地环境条件》,该标准中未涉及的 Cu、Zn、Ni 元素采用 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准;三级:不合格,测试值超过二级。耕地土壤环境质量评价标准见表 1。

表 1 耕地土壤环境质量评价标准

标准	内容	含量限值(mg/kg)							
		Cd	Hg	As	Cr	Cu	Pb	Zn	Ni
GB 15618—1995	自然背景	0.20	0.15	15	90	35	35	100	40
GB 15618—1995	二级(水田)	0.30	0.50	25	300	100	300	250	50
GB 18407.1—2001		0.30	0.50	30	200	—	150	—	—
NY/T 391—2000		0.30	0.40	20	120	60	50	—	—

1.4.2 土壤质量评价方法

1.4.2.1 单项污染指标评价方法 单项污染评价采用指数法进行评价,单项污染指数计算方法如下:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中: P_i 为土壤中污染物 i 的单项污染指数; C_i 为土壤中污染物 i 含量的实测值; S_i 为污染物 i 的评价标准。 $P_i < 1$ 表示土壤未受污染物 i 的明显污染; $P_i > 1$ 表示土壤受污染; P_i 越大,表示受污染程度越重。

1.4.2.2 综合污染指标评价方法 综合污染指数评价方法采用内梅罗污染指数法,综合污染指数计算方法如下:

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

式中: $P_{\text{综}}$ 为土壤综合污染指数; $(C_i/S_i)_{\text{max}}$ 为土壤污染中污染指数的最大值; $(C_i/S_i)_{\text{avg}}$ 为土壤污染中污染指数的平均值。即是:

$$\overline{P_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i = (C_i/S_i)_{\text{avg}};$$
$$\overline{P_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (3)$$

综合污染指数全面反映了各污染物对土壤的作用,同时又突出高浓度污染物对土壤环境质量的影响,本研究计算的综合污染指数中各单项污染指数均按一级标准来计算,按综合污染指数最终评定,划定质量等级(表 2)。

表 2 土壤污染分级标准(NY/T 395—2000《农田土壤环境监测技术规范》)

等级	综合污染指数	污染等级	污染水平
1	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$	警戒	尚清洁
3	$1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$	轻污染	可能引起作物污染
4	$2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$	中污染	土壤、作物中等污染

1.4.2.3 土壤污染累积情况评价方法 土壤污染累积指数

计算公式:

$$P_i' = \frac{C_i}{C_{i0}} \quad (4)$$

式中: P_i' 为土壤污染累积指数; C_i 为土壤中污染物 i 含量的实测值; C_{i0} 为土壤中污染物 i 的背景值。

2 结果与分析

2.1 土壤中 8 种重金属的含量分布

由表 3 可见,仪征市土壤中 8 种重金属的含量分布情况为: Cd 含量为 0~0.39 mg/kg,平均值为 0.11 mg/kg,标准差为 0.07 mg/kg, Cd 含量符合 NY/T391—2000《绿色食品产地环境技术条件》; Hg 含量为 0.01~0.80 mg/kg,平均值为 0.09 mg/kg,标准差为 0.14 mg/kg, Hg 含量符合 NY/T 391—2000《绿色食品产地环境技术条件》; As 含量为 2.69~14.85 mg/kg,平均值为 8.02 mg/kg,标准差为 2.23 mg/kg, As 含量符合 NY/T 391—2000《绿色食品产地环境技术条件》; Cr 含量为 45.40~82.80 mg/kg,平均值为 64.25 mg/kg,标准差为 8.28 mg/kg, Cr 含量符合 NY/T 391—2000《绿色食品产地环境技术条件》; Cu 含量为 12.52~51.41 mg/kg,平均值为 25.38 mg/kg,标准差为 6.99 mg/kg, Cu 含量符合 NY/T 391—2000《绿色食品产地环境技术条件》; Pb 含量为 13.90~50.85 mg/kg,平均值为 22.77 mg/kg,标准差为 6.39 mg/kg, Pb 含量符合 NY/T 391—2000《绿色食品产地环境技术条件》; Zn 含量为 36.70~131.75 mg/kg,平均值为 63.20 mg/kg,标准差为 18.25 mg/kg, Zn 含量符合 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准; Ni 含量为 19.41~56.95 mg/kg,平均值为 33.33 mg/kg,标准差为 7.05 mg/kg, Ni 含量符合 NY/T 391—2000《绿色食品产地环境技术条件》。

2.2 污染累积评价

从污染累积指数($P_{\text{综}}$)平均值(表 4)看,仪征市土壤中 8 种重金属的累积指数都小于 1,多数未超出自然背景值。从

表 3 仪征市土壤环境背景值

项目	含量 (mg/kg)							
	Cd	Hg	As	Cr	Cu	Pb	Zn	Ni
范围	0 ~ 0.39	0.01 ~ 0.80	2.69 ~ 14.85	45.40 ~ 82.80	12.52 ~ 51.41	13.90 ~ 50.85	36.70 ~ 131.75	19.41 ~ 56.95
平均值	0.11	0.09	8.02	64.25	25.38	22.77	63.20	33.33
标准差	0.07	0.14	2.23	8.28	6.99	6.39	18.25	7.05
95% 置信范围	0.03 ~ 0.24	0.02 ~ 0.57	3.69 ~ 10.82	51.48 ~ 80.94	16.00 ~ 43.97	15.73 ~ 37.57	43.38 ~ 104.24	21.78 ~ 47.07

单项指数来看,As、Cr 的所有样品都未超出自然背景值;Pb 有 1 个样品超出自然背景值;Hg、Zn 分别有 2 个样品超出自然背景值;Cu 有 3 个样品超出自然背景值;Cd 有 4 个样品超出自然背景值;Ni 的累积情况最严重,有 6 个样品超出自然背景值,即 10.3% 的样品超出自然背景值。因此,仪征市土壤 8 种重金属无明显累积现象。从超标样品比例来看,仪征市土壤中重金属的积累顺序为: Ni > Cd > Cu > Hg、Zn > Pb > Cr、As。

表 4 仪征市土壤环境背景值及重金属累积指数

元素	自然背景 (mg/kg)	累积指数				超自然背景样品	
		最小值	最大值	平均值	标准差	数量 (个)	比例 (%)
Cd	0.20	0.02	1.95	0.54	0.34	4	6.9
Hg	0.15	0.08	5.35	0.58	0.94	2	3.4
As	15.00	0.18	0.99	0.53	0.15	0	0
Cr	90.00	0.50	0.92	0.71	0.09	0	0
Cu	35.00	0.36	1.46	0.73	0.20	3	5.2
Pb	35.00	0.40	1.45	0.65	0.18	1	1.7
Zn	100.00	0.37	1.32	0.63	0.18	2	3.4
Ni	40.00	0.49	1.42	0.83	0.18	6	10.3

2.3 单项污染指数评价

根据单项污染指数法评价模式,按照表 1 的标准计算出

表 5 仪征市土壤重金属单项污染指数

元素	P_i 分布范围		P_i 平均值		超标样品			
	一级	二级	一级	二级	一级		二级	
					数量 (个)	比例 (%)	数量 (个)	比例 (%)
Cd	0.01 ~ 1.30	0.01 ~ 1.30	0.36	0.36	1	1.69	1	1.69
Hg	0.03 ~ 2.01	0.02 ~ 1.61	0.22	0.18	3	5.08	3	5.08
As	0.13 ~ 0.74	0.11 ~ 0.59	0.40	0.32	0	0	0	0
Cr	0.38 ~ 0.69	0.23 ~ 0.42	0.54	0.32	0	0	0	0
Cu	0.21 ~ 0.85	0.13 ~ 0.51	0.42	0.25	0	0	0	0
Pb	0.28 ~ 1.02	0.09 ~ 0.34	0.46	0.15	1	1.69	0	0
Zn	0.15 ~ 0.53	0.15 ~ 0.53	0.25	0.25	0	0	0	0
Ni	0.39 ~ 1.14	0.39 ~ 1.14	0.67	0.67	2	3.39	2	3.39

表 6 仪征市土壤重金属综合污染指数

等级	综合污染指数	样品数 (个)	比例 (%)
1	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	52	89.66
2	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$	3	5.17
3	$1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$	3	5.17
4	$2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$	0	0

2.5 土壤环境质量空间评价

土壤环境质量污染状况的空间分布能够表明土壤环境污染物的空间分布状况,将 58 个样点分乡 (镇) 统计后,利用 Arc Map 软件绘制 2009 年仪征市 8 种重金属含量的分布特征图。由图 2 可知,土壤 Cd 含量较高的地区为朴席镇、长江以

东;土壤 Hg 含量较高的地区为真州镇以东、朴席镇以南;土壤 As 含量较高的地区为青山镇;土壤 Cr 含量较高的地区主要为朴席镇、长江以东,还有青山镇;宜化集团、新集镇;土壤 Cu 含量较高的地区为朴席镇、长江以东、大仪镇;土壤 Pb 含量较高的地区为真州镇、朴席镇东南;土壤 Zn 含量较高的地区为朴席镇西南、真州镇东南交汇处;土壤 Ni 含量较高的地区为朴席镇、长江以东、刘集镇。

2.4 综合评价

由表 6 可见,本研究调查的仪征市的 58 个土壤样品中,有 89.66% 的土壤样品 (52 个) 的 $P_{\text{综}} \leq 0.7$,处于安全等级,污染水平为清洁;有 5.17% 的土壤样品 (3 个) 的 $P_{\text{综}}$ 为大于 0.7 小于等于 1.0,处于警戒等级,污染水平为尚清洁;有 5.17% 的土壤样品 (3 个) 的 $P_{\text{综}}$ 为大于 1.0 小于等于 2.0,处于轻污染等级;没有土壤样品的土壤污染指数大于 2。属于轻污染等级的样品分布在真州镇、十二圩镇、朴席镇,综合污染指数与 Cd、Ni、Hg 元素的单项污染指数超过二级标准有关。

3 结论与讨论

通过对污染累积指数的分析,仪征市土壤中 8 种重金属的平均累积指数都小于 1,多数未超出自然背景值。土壤中

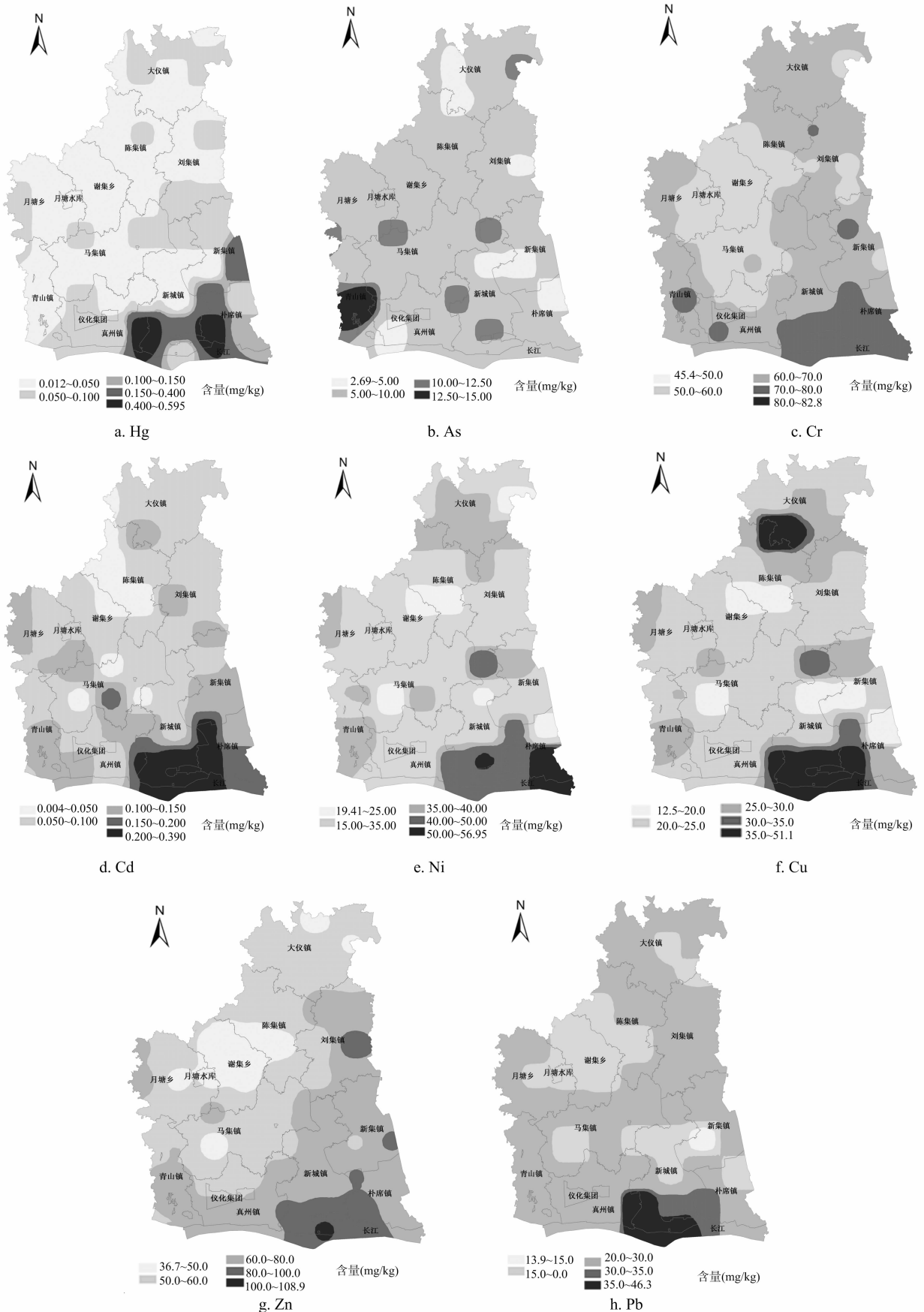


图2 仪征市土壤重金属分布

- 汇,2006,89(1):18-25.
- [15]罗忠勇. 农民工教育投资的个人收益率研究——基于珠三角农民工的实证调查[J]. 教育与经济,2010(1):27-33.
- [16]邢春冰. 农民工与城镇职工的收入差距[J]. 管理世界,2008(5):55-64.
- [17]谢长青,李晓燕. 提高务工农民人力资本的对策分析[J]. 农机化研究,2005(2):248-249,252.
- [18]熊卫平. 劳动力流动对流动者人力资本形成的效应[J]. 湖南商学院学报,2010,17(2):30-35.
- [19]杨新铭,周云波,黎 涓. 农村人力资本形成模式:以天津为例——基于 2003 年天津农村家户调查数据的实证分析[J]. 南开经济研究,2008(6):111-121.
- [20]李 实. 中国农村人力资本的形成及其影响因素[J]. 农村经济与社会,1994(2):15-21.
- [21]侯 力. 劳动力流动对人力资本形成与配置的影响[J]. 人口学刊,2003(6):34-39.
- [22]董 理. 劳动力迁移的选择性与迁出地人力资本形成[J]. 经济问题,2007(9):15-18.
- [23]秦秋红. 农村劳动力转移的成本及其影响分析——兼论农村人力资本的形成[J]. 宁夏大学学报:人文社会科学版,2006,28(6):101-105.
- [24]张永丽,刘富强. 劳动力流动对流动者人力资本形成的效应探析[J]. 人口与经济,2010(1):27-33.
- [25]谭永生. 人力资本与经济增长——基于中国数据的实证研究[M]. 北京:中国财政经济出版社,2007:54-57.
- [26]刘朝臣,鲍步云. 农村人力资本投资研究[M]. 长春:吉林人民出版社,2007:102-105.
- [27]韩 俊. 中国农民工战略问题研究[M]. 上海:上海远东出版社,2009:87-92.
- [28]王春明. 促进农村人力资本形成的路径研究[J]. 经济纵横,2009(10):39-41.

(上接第 419 页)

重金属的积累顺序为: Ni > Cd > Cu > Hg, Zn > Pb > Cr、As。

通过对污染累积指数的分析,所有土壤样品的 As、Cr、Cu、Zn 含量符合一级标准;有 1 个土壤样品的 Pb 含量超过一级标准但符合二级标准;有 1 个土壤样品的 Cd 含量超过二级标准,不合格;有 2 个土壤样品的 Ni 含量超过二级标准,不合格;有 3 个土壤样品的 Hg 含量超过二级标准,不合格。

通过对综合污染指数的分析,发现有 89.66% 的土壤样品(52 个)的 $P_{综} \leq 0.7$,处于安全等级,污染水平为清洁;有 5.17% 的土壤样品(3 个)的 $P_{大}$ 于综为 0.7 小于等于 1.0,处于警戒等级,污染水平为尚清洁;有 5.17% 的土壤样品(3 个)的 $P_{综}$ 为大于 1.0 小于等于 2.0,处于轻污染等级;没有土壤样品的土壤污染指数大于 2。

土壤 Cd 含量较高的地区为朴席镇、长江以东;土壤 Hg 含量较高的地区为真州镇以东、朴席镇以南;土壤 As 含量较高的地区为青山镇;土壤 Cr 含量较高的地区主要为朴席镇、长江以东,其次还有青山镇、宜化集团、新集镇;土壤 Cu 含量较高的地区为朴席镇、长江以东、大仪镇;土壤 Pb 含量较高的地区为真州镇、朴席镇东南;土壤 Zn 含量较高的地区为朴席镇西南、真州镇东南交汇处;土壤 Ni 含量较高的地区为朴席

(上接第 422 页)

3 结论

通过野外人工模拟降雨过程,对同一雨强,不同季节不同土地利用方式下,东江源头区脐橙果园产流时间、水土流失、养分流失的研究结果表明:(1)果园产流时间主要取决于土壤含水率,径流泥沙与养分流失主要发生在降雨初期,东江源头区果园水土与养分流失主要发生在汛期 4—9 月,尤其是 5—6 月。(2)果园地表覆草后能有效延缓产流,控制土壤养分流失,降雨径流中泥沙流失量减少 5.6%~69.1%,总氮流失减少 4.2%~40.8%。(3)在东江源头区应提倡果园地表覆草或适当留草,同时因地制宜利用沟、塘等汇集处理初期雨水,从而减少径流泥沙和土壤养分流失,保持水土,保护东江源水环境。

镇、长江以东、刘集镇。

本研究样品数量有限,如果采集更多样点,空间分析结果将更加可靠,原因分析也将会更加深入。

参考文献:

- [1]赵艳红. 土壤重金属污染的生物修复技术研究进展[J]. 吉林农业,2012(3):225-226.
- [2]李 静,常 勇,潘淑颖. 土壤重金属污染评价方法的研究[J]. 农业灾害研究,2012,2(4):50-52.
- [3]夏利亚,来俊卿. 土壤重金属污染及防治对策[J]. 能源环境保护,2011,25(4):54-55.
- [4]左彦东. 牡丹江市土壤重金属污染状况调查及评价[J]. 环境科学与管理,2011,36(1):51-53.
- [5]罗战祥,揭春生,毛旭东. 重金属污染土壤修复技术应用[J]. 江西化工,2010(2):100-103.
- [6]GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S].
- [7]GB 18407.1—2001 无公害食品蔬菜产地环境条件[S].
- [8]NY/T 391—2000 绿色食品产地环境技术条件[S].
- [9]刘绍贵,张月平,高 晖. 扬州市江都区水田土壤环境质量评价[J]. 中国农学通报,2014,30(32):201-208.

参考文献:

- [1]吴希媛,张丽萍,张妙仙,等. 不同雨强下坡地氮流失特征[J]. 生态学报,2007,27(11):4576-4582.
- [2]王 辉,王全九,邵明安. 表层土壤容重对黄土坡面养分随径流迁移的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(3):10-13,18.
- [3]黄明斌,李玉山,康绍忠. 坡地单元降雨产流分析及平均入渗速率计算[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(1):64-69.
- [4]陈 力,刘青泉,李家春. 坡面降雨入渗产流规律的数值模拟研究[J]. 泥沙研究,2001(4):61-67.
- [5]陈洪松,邵明安,张兴昌,等. 野外模拟降雨条件下坡面降雨入渗、产流试验研究[J]. 水土保持学报,2005,19(2):5-8.
- [6]贾连连,李占斌,李 鹏,等. 黄土区野外模拟降雨条件下坡面径流—产沙试验研究[J]. 水土保持研究,2010,17(1):1-5.
- [7]吴 冰,邵明安,毛天旭,等. 模拟降雨下坡度对含砾石土壤径流和产沙过程的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(5):54-58.