

云南 3 种耕地类型土壤环境质量监测及评价分析

米艳华¹, 王红华², 陶祖盛², 和丽忠¹, 潘艳华³, 陈锦玉¹, 沙凌杰¹, 张晓林¹

(1. 云南省农业科学院质量标准与检测技术研究所, 云南 昆明 650223; 2. 云南省农业环境保护监测站, 云南 昆明 650034; 3. 云南省农业科学院农业环境与资源研究所, 云南 昆明 650223)

摘 要:按照《农田土壤环境质量监测技术规范》(NY/T 395—2000), 连续 4 年 6 次对云南亚热带干热河谷旱(缓)坡农耕地、中海拔旱(陡)坡农耕地和平坝区蔬菜地 3 个监控区农田土壤环境质量进行定点定位监测分析。结果表明, 保山市登高旱(缓)坡农耕地处于 Ni 背景值偏高区域, 除 Ni 元素超标外, 其余监测项目值均低, 综合污染指数显示清洁或尚清洁水平, 未造成污染。晋宁县金沙平坝区蔬菜地农田土壤除个别点 Pb、Ni 和 Cu 有污染现象外, 其余均未受到污染, 处于清洁到轻度污染水平。富民县河东村旱(陡)坡农耕地处于 Cu 高背景值区和 Ni 背景值偏高区域, 土壤中 Cu 含量全部达到重度以上污染水平, Ni 达到轻度到中度污染水平, Cr 个别位点达到轻度污染, 其他监测项目均处于清洁到尚清洁水平, 土壤综合污染水平处于重污染水平。保山市登高旱(缓)坡农耕地和晋宁县金沙平坝区蔬菜地均达到无公害农产品产地环境质量要求, 而富民县河东村旱(陡)坡农耕地则需对土壤环境质量加以治理。

关键词:耕地类型; 土壤环境质量; 动态监测; 评价分析

中图分类号: X825 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)05-1836-06

Monitor and Analysis for Environmental Quality of Soils in Three Typical Farmland in Yunnan Province of China

MI Yan-hua¹, WANG Hong-hua², TAO Zhu-sheng², HE Li-zhong¹, PAN Yan-hua³, CHEN Jing-yu¹, SHA Ling-jie¹, ZHANG Xiao-lin¹

(1. Institute of Agricultural Quality Standard & Testing technique, YUNNAN Academy of Agricultural Sciences, Kunming, 650223, China; 2. Agricultural Environmental Protection and Monitor Station of Yunnan province, Kunming, 650034, China; 3. Institute of Agricultural Environment & Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, 650223, China)

Abstract: According to Procedural Regulations Regarding the Environment Quality Monitoring of Soil (NY/T 395-2000), monitoring and analysis for soil environmental quality were launched six times in four years in three subtropical monitoring areas in Yunnan Province, these areas included dry-delay-slopes in dry-hot valley, dry-steep-slopes in mid-altitude area and vegetable fields in intermontane basin. The results have been carried out. Dry-delay-slopes in Bao Shan municipality was relatively unpolluted, only nickel content in soil exceeded standard. Vegetable fields in Jin Ning county was slightly polluted, content of lead, nickel and copper in soil exceeded standard in some places. Dry-steep-slopes in Fu Min county was seriously polluted, copper content in soil reached heavy pollution level, nickel content reached medium pollution level. In some sites, chromium content reached slight pollution level. In conclusion, dry-delay-slopes in Bao Shan municipality and vegetable fields in Jin Ning county were suitable for producing of pollution-free agricultural products, environmental control in dry-steep-slopes in Fu Min county should be taken without any delay.

Keywords: farmland type; soil environmental quality; dynamic monitor; estimate analysis

近年来, 由于工业“三废”(废水、废气、废渣)的排放和农药、化肥的大量施用, 使得农业环境质量急剧恶化, 土壤板结, 肥力下降, 重金属元素在土壤中的积累比 20 世纪初明显增高^[1]。农田环境的严重污染, 不仅制约农业的可持续发展, 影响我国农产品的国际竞

争力, 而且危害人民的身体健康和生命安全。开展基本农田环境质量监测, 防止农田环境污染已经成为当前一项重大紧迫的工作。本文对云南亚热带干热河谷旱(缓)坡农耕地、中海拔旱(陡)坡农耕地和平坝区蔬菜地 3 种类型的基本农田各 20 hm², 作为监控区, 按照《农田土壤环境质量监测技术规范》(NY/T 395—2000)^[2], 连续 4 年 6 次定点定位监测了监控区农田土壤环境质量, 16 个监控项目, 包括 Cd、总 Hg、总 As、Cu、Pb、总 Cr、Zn、Ni、DDT、六六六和 pH 等 11 个必测

收稿日期: 2007-11-06

基金项目: 云南省科技攻关计划项目部分工作(2002NG13)

作者简介: 米艳华(1973—), 女, 助理研究员, 主要从事农业环境资源工作。E-mail: zhoudimu@sina.com

通讯作者: 张晓林

元素,氟化物、甲胺磷、氧化乐果 3 个选测元素。并根据《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)进行土壤环境质量现状分析评价,为基本农田趋势预警和治理保护提供依据^[3]。

1 材料与方法

1.1 监控区概况

3 种耕地类型土壤环境质量监控区基本情况见表 1。

1.2 监测点布设和样品采集

按照农业行业标准《农田土壤环境质量监测技术规范》(NY/T 395—2000),每个监控区为一个监测单元,亚热带干热河谷旱(缓)坡农耕地和平坝区蔬菜地,按棋盘式法分别布设 18、11 个采样点;中海拔旱(陡)坡农耕地,按蛇形法布设 17 个采样点。每个采样点用便携式 GPS 仪定点定位,用梅花点法设 5 个分点,于 2003—2006 年分 4~6 次采集 0~20 cm 耕作层土壤混和样。

1.3 监测项目和分析方法

16 个监控项目,其中 Cd、总 Hg、总 As、Cu、Pb、总 Cr、Zn、Ni、DDT、六六六和 pH 11 个必测元素,氟化物采用《农田土壤环境质量监测技术规范》(NY/T 395—2000)规定的分析方法^[2],选测项目甲胺磷、氧化乐果参照《水和土壤质量 有机磷农药的测定 气相色谱法》(GB/T 14552—93)的方法分析。

1.4 采用的模式、评价标准和分级标准

对农田环境质量的评价,一般是在土壤单因子评价的基础上进行的多因子区域和单项污染物综合环境质量评价^[4]。本文采用比较常用的单项污染指数法和综合污染指数法进行评价。pH、Hg、Cd、As、Pb、Cr 按照《农产品安全质量 无公害蔬菜产地环境要求》(GB/T18407.1—2001)中土壤环境质量要求进行评价,Zn、Ni、Cu、666、DDT 按照《土壤环境质量标准》

(GB15618—1995)进行评价,氟化物、甲胺磷、氧化乐果无评价标准,未进行评价。

单项污染指数法计算公式: $P_i=C_i/S_i$
式中: P_i 为 i 污染物的污染指数; C_i 为 i 污染物含量; S_i 为 i 污染物评价标准(全国土壤质量标准作为评价的环境背景值^[5])。

综合污染指数法计算公式:

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

$\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\max}$ 为土壤污染物中污染指数最大值;
 $\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\text{ave}}$ 为土壤各污染指数的平均值。

$P_{综1}$:以监测样品为背景值计算的综合污染指数;
 $P_{综2}$:以监测参数为背景值计算的综合污染指数。

2 土壤监测结果及评价分析

2.1 保山登高旱(缓)坡农耕地

本区农田土壤 pH、所测参数总 Ni、总 As 普遍较高,特别是 2005 年下半年的测定结果全部超标。6 次测定结果控制在总体平均值的±2SD (2 倍标准偏差)范围内(表 2)。2003 上半年六六六监测有 1 个点超标;DDT 均有检出;未进行评价的监测项目大多含量较低(与云南省土壤背景值比较),未造成污染。

根据监测样品(表 3)计算土壤综合污染指数 $P_{综1}$,除 2005 年下半年取样 $P_{综1}$ 在 1.09~1.40 之间,污染水平均为轻污染外,其余 5 次样点监测 $P_{综1}$ 都在 0.73~0.91 之间,污染水平均为尚清洁。

按参数(表 4)计算土壤综合污染指数 $P_{综2}$,As 在 0.66~1.39 之间,污染水平 2003 年上半年监测为清洁,2005 年下半年监测为轻污染,其余为尚清洁;Cr 在 0.45~0.84 之间,污染水平 2006 年下半年监测为尚

表 1 3 种耕地类型土壤环境质量监控区基本状况
Table 1 General situation of three farmland type environment monitoring section

农田类型	地点	位置	基本状况	面积	样点数
亚热带干热河谷旱(缓)坡农耕地	保山市隆阳区道街乡登高村	北纬 24°56.78'~24°56.85' 东经 98°53.34'~98°53.65'	该区为亚热带干热河谷冲积土,海拔 694~718 m,平均坡度 5 度,种植作物以玉米、甘蔗、蔬菜为主,一年多熟。该区为碱性土壤,有机质含 21.1 g·kg ⁻¹ 。过度种植,作物秸秆做燃料,有机肥不足,病虫害严重,农药、化肥使用不合理。土壤退化,有机质偏低	20 hm ²	18
亚热带高原平坝区蔬菜地	昆明市晋宁县上蒜乡金沙村	北纬 24°42.53'~ 24°42.68' 东经 102°41.04'~102°41.36'	该区为滇池湖滨水稻土,海拔 1 869~1 891 m,2001 年种植结构调整以种植蔬菜、花卉为主,一年多熟。该区为中性土壤,有机质含量 34.4 g·kg ⁻¹ 。病虫害严重,农药、化肥使用不合理,有机肥不足。地下水位高,且有 NO ₃ 污染;土壤板结	20 hm ²	18
亚热带中海拔旱(陡)坡农耕地	昆明市富民县者北乡河东村	北纬 25°16.78'~25°16.93' 东经 102°29.03'~102°29.98'	该区为玄武岩红壤,海拔 1 618~1 863 m,平均坡度约 12 度。部分地段坡度大于 30 度,水土流失严重,土壤干、酸、瘦,作物以玉米、甘薯一年一熟为主	20 hm ²	17

表 2 保山登高旱(缓)坡农耕地土壤环境质量监测结果

Table 2 The results of environment quality monitoring of soil in Baoshan city

监测项目	监测日期						平均值	标准偏差
	2003年上	2003年下	2004年上	2004年下	2005年下	2006年下	AV	SD
pH	8.36	8.61	8.79	8.48	7.79	7.79	8.31	0.41
Hg/mg·kg ⁻¹	0.07	0.07	0.08	0.08	0.05	0.04	0.06	0.02
Cd/mg·kg ⁻¹	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.13	0.03
As/mg·kg ⁻¹	15.69	22.76	21.23	20.18	34.17	20.74	22.46	6.21
Pb/mg·kg ⁻¹	24.22	18.29	19.26	26.14	23.60	23.30	21.98	3.80
Cr/mg·kg ⁻¹	78.73	112.08	115.13	108.56	113.90	185.80	119.03	35.44
Zn/mg·kg ⁻¹	77.18	89.04	77.49	80.75	97.74	83.06	84.21	7.93
Cu/mg·kg ⁻¹	48.7	51.2	57.8	57.6	56.94	52.01	54.0	3.9
Ni/mg·kg ⁻¹	64.07	67.91	68.61	68.77	91.71	64.07	70.86	10.44
F/mg·kg ⁻¹	862.16	591.38	391.40	561.22	290.80	374.60	54.04	3.91

注:由于监测数据较为庞大,表中所列各项监测数据均为 18 个监测点的平均值。

表 3 6 次取样土壤综合污染指数 $P_{综1}$ 对比表(按样品评价,保山)

Table 3 The comprehensive pollution indices for soil basis sample in six times from Baoshan

监测日期	监测样点																		平均	标准偏差
	CK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	AV	SD
2003 年上	0.84	1.37	0.83	0.81	0.77	0.78	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83	0.74	0.73	0.73	0.84	0.81	0.78	0.82	0.14
2003 年下	0.88	0.80	0.84	0.80	0.81	0.87	0.87	0.86	0.84	0.86	0.85	0.82	0.83	0.81	0.89	0.88	0.89	0.82	0.85	0.03
2004 年上	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.79	0.87	0.88	0.85	0.81	0.86	0.91	0.88	0.82	0.85	0.04
2004 年下	0.86	0.87	0.84	0.89	0.87	0.90	0.85	0.86	0.88	0.90	0.90	0.87	0.83	0.90	0.89	0.90	0.86	0.90	0.88	0.02
2005 年下	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.12	1.22	1.20	1.09	1.12	1.16	1.37	1.14	1.40	1.20	0.11
2006 年下	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.83	0.84	0.83	0.82	0.83	0.83	0.80	0.82	0.82	0.82	0.01
AV	0.86	1.01	0.84	0.83	0.82	0.85	0.83	0.83	0.84	0.88	0.91	0.91	0.86	0.87	0.89	0.95	0.90	0.92	0.90	0.03
SD	0.02	0.31	0.01	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.04	0.12	0.15	0.15	0.12	0.14	0.14	0.21	0.12	0.24	0.15	0.04

表 4 土壤综合污染指数 $P_{综2}$ 对比表(按监测参数评价,保山)

Table 4 The comprehensive pollution indices for soil basis monitoring parameter in six times from Baoshan

监测日期	监测参数									
	Hg	Cr	As	Pb	Cr	Zn	Ni	Cu	六六六	DDT
2003年上	0.08	0.28	0.66	0.18	0.45	0.3	1.1	0.53	1.31	0.09
2003年下	0.12	0.25	0.97	0.2	0.47	0.33	1.16	0.67	0	0.34
2004年上	0.28	0.15	0.89	0.18	0.5	0.28	1.17	0.61	0.01	0.69
2004年下	0.11	0.29	0.85	0.21	0.47	0.3	1.16	0.61	0.03	0.33
2005年下	0.09	0.37	1.39	0.16	0.54	0.37	1.77	0.6	0	0.67
2006年下	0.1	0.28	0.85	0.16	0.84	0.32	1.21	0.54	0	0.41
AV	0.13	0.27	0.94	0.18	0.55	0.32	1.26	0.59	0.23	0.42
SD	0.07	0.07	0.25	0.02	0.15	0.03	0.25	0.05	0.53	0.23

清洁,其余为清洁;Ni 在 1.10~1.77,污染水平均为轻污染;六六六在 0~1.31 之间,污染水平 2003 年上半年为轻污染,其余为清洁;Hg、Cr、Pb、Zn、Cu、DDT 综合污染指数≤1,污染水平均为清洁。

2.2 晋宁县金砂和石寨平坝蔬菜区

本区的土壤所测参数 Ni 普遍偏高,并有被污染现象;Cu 和总 Pb 个别点出现污染;其余参数含量较低,未受到污染(表 5)。未进行评价的监测项目大多含量较低(与云南省土壤背景值比较),未造成污染。

土壤综合污染指数 $P_{综1}$ (表 6)表明,晋宁县平坝蔬菜区土壤环境质量 4 年来检测结果波动不大,虽然 2005 年下半年整体监测值相对偏高,但 6 次监测结果均处于尚清洁或清洁水平;18 个样点之间的监测结果差异也不显著,说明该区土壤环境质量 4 年相对稳定,变化趋势不明显。

按参数(表 7)计算土壤综合污染指数 $P_{综2}$,Cr 污染水平 2005 年下半年监测为尚清洁,其余为清洁;As 污染水平 2006 年下半年监测为尚清洁,其余为清洁;

表 5 晋宁县平坝蔬菜区土壤环境质量监测结果
Table 5 The results of environment quality monitoring of soil in Jinning

监测项目	监测日期						平均值	标准偏差
	2003年上	2003年下	2004年上	2004年下	2005年下	2006年下	AV	SD
pH	7.12	8.03	7.59	7.85	7.28	6.97	7.47	0.42
Hg/mg·kg ⁻¹	0.07	0.15	0.11	0.09	0.10	0.11	0.11	0.03
Cd/mg·kg ⁻¹	0.09	0.14	0.13	0.14	0.11	0.16	0.13	0.03
As/mg·kg ⁻¹	9.53	8.75	11.63	12.16	20.25	12.93	12.54	4.10
Pb/mg·kg ⁻¹	78.28	53.93	63.11	65.96	67.05	78.46	67.80	9.40
Cr/mg·kg ⁻¹	68.23	107.76	86.63	74.99	76.07	135.38	91.51	25.56
Zn/mg·kg ⁻¹	133.50	131.00	124.60	132.47	150.00	136.88	134.74	8.00
Cu/mg·kg ⁻¹	52.73	64.43	51.45	58.92	58.36	57.63	57.25	4.69
Ni/mg·kg ⁻¹	39.78	45.87	39.69	41.81	57.69	42.84	44.61	6.80
F/mg·kg ⁻¹	973.17	1 280.00	672.00	856.44	663.20	996.69	956.16	362.04

注:由于监测数据较为庞大,表中所列各项监测数据均为 11 个监测点的平均值。

表 6 6 次取样土壤综合污染指数 $P_{综1}$ 对比表(按样品评价,晋宁)
Table 6 The comprehensive pollution indices for soil basis sample in six times from Jinning

监测日期	监测样点																			平均	标准偏差
	CK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	JNSZ-1	JNSZ-2	JNSZ3-4	JNSZ-5	JNSZ-6	AV	SD
2003年上	0.66	0.62	0.48	0.58	0.58	0.59	0.98	0.62	0.61	0.62	0.62	0.70	—	—	—	—	—	—	—	0.64	0.12
2003年下	0.62	0.59	0.62	0.59	0.58	0.59	—	0.56	0.57	0.97	0.73	0.62	0.57	0.59	—	—	—	—	—	0.63	0.11
2004年上	0.65	0.56	0.52	0.55	0.55	0.81	0.53	0.55	0.48	0.68	0.58	—	0.53	0.52	—	—	—	—	—	0.58	0.09
2004年下	0.55	—	0.70	—	0.53	—	0.57	—	0.60	—	0.57	—	—	—	0.66	0.68	—	0.74	0.69	0.63	0.07
2005年下	0.92	—	0.78	—	0.84	—	0.90	—	0.94	—	0.88	—	—	—	0.89	0.91	0.92	0.98	0.73	0.88	0.07
2006年下	0.67	—	0.73	—	0.72	—	0.68	—	0.74	—	0.73	—	—	—	0.81	0.75	0.75	0.70	0.69	0.72	0.04
AV	0.68	0.59	0.64	0.57	0.63	0.66	0.73	0.58	0.66	0.76	0.68	0.66	0.55	0.56	0.79	0.78	0.84	0.81	0.70	0.68	0.08
SD	0.13	0.03	0.12	0.02	0.12	0.13	0.20	0.04	0.16	0.19	0.12	0.06	0.03	0.05	0.12	0.12	0.12	0.15	0.02	0.11	0.03

表 7 土壤综合污染指数 $P_{综2}$ 对比表(按监测参数评价晋宁)
Table 7 The comprehensive pollution indices for soil basis monitoring parameter in six times from Jinning

监测时间	监测参数									
	Hg	Cr	As	Pb	Cr	Zn	Ni	Cu	六六六	DDT
2003年上	0.17	0.3	0.36	1.01	0.33	0.71	0.81	0.56	0	0
2003年下	0.38	0.38	0.49	0.57	0.51	0.54	0.87	0.82	0	0
2004年上	0.22	0.49	0.44	0.5	0.4	0.57	0.86	0.63	0	0.03
2004年下	0.16	0.74	0.36	0.49	0.44	0.6	0.88	0.59	0	0
2005年下	0.39	0.39	0.8	0.6	0.46	0.68	1.29	0.95	0	0.12
2006年下	0.33	0.56	0.45	0.54	0.86	0.58	0.88	0.6	0	0.1
AV	0.28	0.48	0.48	0.62	0.50	0.61	0.93	0.69	0.00	0.04
SD	0.10	0.16	0.16	0.20	0.19	0.07	0.18	0.16	0.00	0.05

Pb 污染水平 2003 年上半年监测为轻污染,其余为清洁;Cr 污染水平 2006 年下半年监测为尚清洁,其余为清洁;Zn 污染水平 2003 年上半年监测为尚清洁,其余为清洁;Ni 污染水平 2005 年下半年监测为轻污染,其余为尚清洁;Cu 污染水平 2003 年下半年、2004 年上半年和 2006 年下半年为尚清洁,其余为清洁;污染水平均为清洁;Hg、DDT、六六六 6 次监测综合污染指数较低甚至为 0,污染水平评价为清洁。

2.3 河东旱(陡)坡农耕区

本区农田土壤监测结果表明(表 8),该区土壤污染严重,土壤受污染元素为 Cr、Ni 和 Cu,污染原因可能是由于该区处于这些元素背景值较全省显著高的区域,这些参数 4 年来含量水平基本平稳,无明显波动。未进行评价的监测项目大多含量较低(与云南省土壤背景值比较),未造成污染。

土壤综合污染指数 $P_{综1}$ (表 9)表明,除河东旱(陡)坡农耕区如 13 号点位污染程度逐年有所加重外,其余各点位综合污染指数 4 年来趋于稳定;污染

表 8 富民河东旱(陡)坡农耕地土壤环境质量监测结果
Table 8 The results of environment quality monitoring of soil in Fuming

监测项目	监测日期						平均值	标准偏差
	2003年上	2003年下	2004年上	2004年下	2005年下	2006年下	AV	SD
pH	4.87	5.16	5.23	4.76	5.01	5.05	5.08	0.46
Hg/mg·kg ⁻¹	0.06	0.10	0.06	0.04	0.04	0.06	0.06	0.04
Cd/mg·kg ⁻¹	0.16	0.08	0.14	0.21	0.18	0.16	0.15	0.05
As/mg·kg ⁻¹	2.83	3.36	2.01	2.14	4.44	2.67	2.91	0.90
Pb/mg·kg ⁻¹	29.62	23.35	16.48	24.09	25.27	22.45	23.54	4.27
Cr/mg·kg ⁻¹	108.89	137.08	100.66	135.30	93.05	125.18	116.69	18.50
Zn/mg·kg ⁻¹	133.35	126.63	134.59	138.71	170.71	125.18	138.19	16.71
Cu/mg·kg ⁻¹	48.80	52.33	40.01	49.66	45.89	44.73	46.90	4.34
Ni/mg·kg ⁻¹	70.32	75.28	68.16	76.91	107.56	73.40	78.61	14.54
F/mg·kg ⁻¹	324.44	321.89	319.12	339.89	339.38	320.71	327.57	9.50

注:由于监测数据较为庞大,表中所列各项监测数据均为 11 个监测点的平均值。

表 9 6 次取样土壤综合污染指数 $P_{综1}$ 对比表(按样品评价,富民)
Table 9 The comprehensive pollution indices for soil basis sample in six times from Fuming

监测日期	监测样点																平均	标准偏差	
	CK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	AV	SD
2003年上	3.33	5.01	5.31	4.97	5.03	4.96	4.58	5.82	5.10	4.38	4.70	4.89	5.47	3.75	1.50	4.57	4.16	4.56	1.00
2003年下	2.89	5.61	5.30	5.26	5.44	4.95	3.64	5.61	5.18	4.34	4.85	4.86	4.46	3.15	3.59	4.59	4.64	4.61	0.84
2004年上	3.65	4.92	5.27	4.94	5.24	5.03	3.57	5.10	4.75	4.37	4.65	4.87	5.05	3.73	4.30	4.28	3.97	4.57	0.57
2004年下	5.83	5.84	5.84	5.84	5.84	5.80	5.86	5.84	5.82	5.83	5.85	5.82	5.83	5.81	5.83	5.83	5.84	5.83	0.01
2005年下	4.31	5.85	5.39	5.49	5.32	5.21	3.66	5.95	5.22	4.67	4.77	4.84	4.79	3.82	4.97	4.32	4.39	4.88	0.65
2006年下	3.88	2.65	5.27	5.20	5.14	5.13	3.48	3.84	5.71	4.95	4.99	4.81	3.99	4.28	4.38	4.52	3.96	4.48	0.78
AV	3.98	4.98	5.40	5.28	5.34	5.18	4.13	5.36	5.30	4.76	4.97	5.02	4.93	4.09	4.09	4.69	4.49	4.82	0.64
SD	1.03	1.21	0.22	0.34	0.29	0.32	0.94	0.80	0.40	0.58	0.45	0.40	0.67	0.92	1.48	0.58	0.71	0.51	0.34

表 10 土壤综合污染指数 $P_{综2}$ 对比表(按监测参数评价,富民)
Table 10 The comprehensive pollution indices for soil basis monitoring parameter in six times from Fuming

监测时间	监测参数									
	Hg	Cr	As	Pb	Cr	Zn	Ni	Cu	六六六	DDT
2003年上	0.36	0.61	0.18	0.62	1.08	0.87	2.08	7.31	0.05	0.24
2003年下	0.51	0.43	0.16	0.4	1.01	0.73	2.17	7.17	0	0.07
2004年上	0.24	0.48	0.08	0.24	0.75	0.73	1.84	6.89	0	0
2004年下	0.22	0.8	0.1	0.38	1.12	0.82	2.03	7.77	0	0
2005年下	0.26	0.67	0.21	0.38	0.7	1.29	2.88	7.54	0	0.11
2006年下	0.45	0.58	0.14	0.31	0.98	0.67	1.91	7.06	0	0
AV	0.34	0.60	0.15	0.39	0.94	0.85	2.15	7.29	0.01	0.07
SD	0.12	0.13	0.05	0.13	0.17	0.23	0.38	0.32	0.02	0.10

水平均在重度污染以上,其原因是整个区域 Ni 和 Cu 背景值高,导致综合污染指数偏高。

按监测参数(表 10)综合污染指数 $P_{综2}$ 进行评价,河东旱(陡)坡农耕地 6 次土壤监测的结果,Hg、Cr、As、Pb、六六六、DDT 历次含量监测含量均较低,未受到污染,而且 4 年来含量水平平稳,无明显波动;Cr 和 Zn 的含量水平存在小范围波动,6 次监测 Cr 有 3 次出现轻度污染,Zn 有 1 次出现轻度污染;Ni 和 Cu 由于高背景值原因,含量水平均较高,Ni 6 次监测

综合污染指数在 1.84~2.88 之间,属中度到重度污染,Cu 6 次监测综合污染指数在 6.89~7.77 之间,均达到重污染水平。

2.4 3 区域对比

2003—2006 年 3 类区域土壤监测的结果显示,河东村由于 Cu、Ni 背景值较高,导致综合污染程度达到重度以上污染水平,登高土壤除个别点位呈现轻度污染水平外,综合污染程度表现为尚清洁;金沙、石寨土壤质量相对较好,综合污染程度为清洁水平,但个

别点位呈现轻度污染;土壤污染水平顺序为河东>登高>金沙、石寨。

3 土壤环境质量综合评价

3.1 保山市登高旱(缓)坡农耕地

由于处于 Ni 背景值偏高区域,土壤中所测参数 Ni 普遍较高;但综合污染水平处于尚清洁到轻污染程度。六六六第一次监测有 1 个点超标;DDT 均有检出;其余参数含量较低。未进行评价的监测项目大多含量较低(与云南省土壤背景值比较),未造成污染。因 Ni 未列入无公害农产品产地环境质量的限量元素,故该区环境质量仍达到无公害农产品产地环境质量要求。

3.2 晋宁县金沙平坝蔬菜区

农田监测土壤除个别点 Pb、Ni、Cu 有污染现象外,其余均未受到污染。由于该区大量施用磷石膏和低浓度磷肥如磷矿粉等作物肥料,F 含量相对较高。未进行评价的监测项目大多含量较低(与云南省土壤背景值比较),未造成污染。环境质量达到了无公害蔬菜产地环境质量的要求。

3.3 富民县河东村

由于处于镍背景值偏高区域,土壤中 Ni 达到轻度到重度污染水平,超过 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》二级标准值($\text{pH}<6.5$, $\text{Ni}\leq 40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Cu}\leq 50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。未进行评价的监测项目大多含量较低(与云南省土壤背景值比较),未造成污染。该区域不经治理,不宜作无公害农产品产地加以利用。并且,由于污染元素系环境背景值高所致,与水土流失和土壤侵蚀有直接关系,属自然污染,非外源污染,故治理难度比外源污染还大。

4 3 类区域土壤环境质量综合评价及耕地利用建议

云南省由于特殊的地质构造特点,很多农耕区域都处于重金属高背景值地带。通过对 3 类农耕区的土壤环境质量调查表明,土壤环境存在不同程度污染,受污染元素主要是 Cr、Ni 和 Cu。4 年来所有监测项目含量水平基本平稳,无明显波动。按照《农产品安全质量 无公害蔬菜产地环境要求》(GB/T18407.1—2001)、《农田灌溉水质标准》(GB5084—1992)和《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)的技术指标规定,结合灌溉水、农区环境空气的连续跟踪采样监测和评价。对上述 3 区域耕地利用情况建议如下:

(1)采取作物品种筛选和植物修复的方式,通过种植高累积作物,吸收土壤中高含量元素,降低土壤中铬、镍和铜的含量水平。

(2)进一步应用分带多熟轮作、格网式垄作、间作留茬覆盖等水土保持耕作。增施有机肥和种植牧草、绿肥作物,增施土壤调理剂,减少土壤流失和养分流失量。合理使用农业生产资料,提高肥料利用率,提高农田环境质量。

(3)在生产过程中积极推行无公害生产技术,应用作物营养快速诊断精准施肥技术^[7],以增施有机肥为主,合理降低农药化肥的使用量,严禁使用违禁农药,特别是带有违禁农药成分的混配农药,防止造成农业自身污染。

参考文献:

- [1] Reiman nC, Carita P D. Chemical elements in the environment Spring, Berlin Heidelberg New York, 1998.
- [2] NY/T 395—2000, 中华人民共和国农业行业标准 农田土壤环境质量监测技术规范[S].
The Standard of Agriculture of The People's Republic of China—Procedural Regulations Regarding the Environmental Quality Monitoring of Soil[S]. NY/T 395—2000.
- [3] 孙 波, 周生路, 赵其国. 基于空间变异分析的土壤重金属复合污染研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 248—251.
SUN Bo, ZHOU Sheng-lu, ZHAO Qi-guo. Combined pollution of heavy metal in soil based on spatial variation analysis[J]. *Journal of Agro-environmental Science*, 2003, 22(2): 248—251.
- [4] 王铁宇, 汪景宽, 周 敏等. 黑土重金属元素局地分异及环境风险[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(2): 272—276.
WANG Tie-yu, Wang Jing-kuan, ZHOU Min, et al. Local variation and environmental risk of heavy metals in black soils from the northeast of China[J]. *Journal of Agro-environmental Science*, 2004, 23(2): 272—276.
- [5] 刘文新, 栾兆坤, 汤鸿霄. 乐安江沉积物中重金属污染的潜在生态风险性评价[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 206—211
LIU Wen-xin, LUAN Zhao-kun, TANG Hong-xiao. Environmental assessment on heavy metal pollution in the sediments of Le An River with potential ecological risk index[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(2): 206—211.
- [6] 刘凤枝, 师荣光, 徐亚平, 等. 耕地土壤重金属污染评价技术研究[C]//首届全国农业环境科学学术研讨会论文集. 175—179.
LIU Feng-zhi, SHI Rong-guang, XU Ya-ping, et al. The study of assessment technology for farmland soil heavy metal pollutions[A]. Collected papers of the first national agro-environmental science symposium[C]. 175—179.
- [7] 沙凌杰, 李正英, 朱 丽, 等. 反射仪—硝酸根试纸法现场速测蔬菜硝酸盐水平及其应用[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(5): 994—999.
SHA Ling-jie, LI Zheng-ying, ZHU Li, et al. Nitrate Test-strip-reflectometer for rapid testing nitrate level in cucumber, Chinese cabbage and cabbage in field scene[J]. *Journal of Agro-environmental Science*, 2005, 24(5): 994—999.