

介休市焦化业对当地生态环境的影响研究

王霄娥¹, 郑琪文², 李翠萍², 郑玉斌¹, 李腊英¹

(1. 晋中市环境科学研究所, 山西 晋中 030600; 2. 晋中市环境保护局, 山西 晋中 030600)

摘要:为较全面地了解持续炼焦对生态环境的影响,本文选择山西省典型焦化区—介休市作为研究对象,利用焦化区与对照区卫星遥感数据及土壤、粮食作物及蔬菜食用部分实地采样监测数据,对焦化业的生态影响进行了研究。结果表明,受焦化业影响,焦化区植被面积大量减少,20年间减少了9.27%;与对照区相比,焦化区土壤、粮食作物及蔬菜食用部分明显受到污染,粮食作物及蔬菜食用部分中挥发酚与苯并[a]芘含量已出现超标现象,不可食用;挥发酚、氰化物、苯并[a]芘3项焦化特征污染物相比较,苯并[a]芘不易进入植物体,而挥发酚和氰化物易被植物吸收;与粮食作物相比较,蔬菜类作物更易受焦化业的污染;粮食作物中,高粱最易受焦化业污染,大豆次之,玉米相对受焦化污染影响较小。在焦化区种植的蔬菜中,叶菜类蔬菜比根茎类蔬菜对焦化特征污染物吸收富集能力强,白菜是所有监测作物中最宜富集焦化特征污染物的作物。本研究提出了调整焦化区产业结构与农业种植结构的建议。

关键词: 焦化;生态环境;苯并[a]芘;挥发酚;氰化物

中图分类号: X820.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)02-0820-06

The Influence of Coking Industry on Local Ecological Environment in Jiexiu City

WANG Xiao-e¹, ZHENG Qi-wen², LI Cui-ping², ZHENG Yu-bin¹, LI La-ying¹

(1. Jinzhong Institute of Environment Science, Jinzhong 030600, China; 2. Jinzhong Bureau of Environmental Protection, Jinzhong 030600, China)

Abstract: The influence of sustained coking on ecological environment was studied in a typical coking area, Jiexiu city, through collecting satellite remote sensing data about the cover rate of vegetation in 1983 and 2005, and monitoring the contents of characteristic pollutants of coking (phenol, CN and benzo (a) pyrene) in soil, grain crops (corn, soybean, Chinese sorghum) and vegetables (Chinese cabbage and carrot) in coking area and contrast area. The cover rate of vegetation went down by 9.27% in last 20 years in coking area. Soil, grain crops and vegetables in coking area were polluted and the contents of characteristic pollutants of coking in some samples exceeded the standard. Among the three characteristic pollutants of coking, phenol and CN were easier to be absorbed by plant than benzo (a) pyrene. The vegetables were more capable of accumulating the characteristic pollutants of coking than grain crops. Among three grain crops, Chinese sorghum was easier to be polluted by coking than corn and soybean. Chinese cabbage was easier to be polluted by coking than carrot. In all monitored plant samples, Chinese cabbage was most capable of accumulating characteristic pollutants of coking.

Keywords: coking; ecological environment; benzo (a) pyrene; phenol; CN

山西省是我国的焦化大省,2005年全省产焦8 000万t,占全国总产量的40%。介休市是山西省的主要焦炭生产区,2005年全市产焦1 235万t,占全省的15%;出口焦炭400万t,占全省的56%,全国的40%。同时介休市也是山西省规模炼焦持续时间最长的地区,区内焦化业于1983年形成规模,20多年来,

焦炭产量持续增长,由1983年的15万t增至2005年的1 235万t,23年间累计产焦10 118万t。可以说,介休市是一个典型的焦化生产区,焦化对区域生态环境的影响具有代表性。

为深入了解焦化业发展对当地生态环境的影响,本课题选择介休市为研究对象,使用焦化区和对照区1983年、2005年有关生态环境的卫星遥感数据及2005年农田土壤、作物、蔬菜中焦化业3项特征污染物——挥发酚、氰化物、苯并[a]芘(以下称B[a]P)的实

收稿日期:2007-05-29

作者简介:王霄娥(1964—),女,山西平遥人,农学硕士,高级工程师,主要从事环境影响评价、环境规划工作。

E-mail:wxehks@126.com

地采样监测数据,对比研究了焦化业对当地生态环境的影响。

1 材料与方法

1.1 焦化区、对照区的选择

本课题选择介休市义安镇作为焦化区,选择介休市秦树乡作为对照区。

(1)焦化区概况:义安镇位于介休市北部,为汾河冲击平原区,区内人口密度较大,盐碱地较多。1983 年以前,该区域以农业经济为主,基本没有工业企业。1983 年以后,陆续建设了焦化厂,并呈持续增长态势。至 2005 年,区域内焦化生产规模达 880 万 t,占全市的 71.3%,是介休市焦化企业集中区,也是污染最重的一个乡镇。

(2)秦树乡概况:秦树乡位于介休市南部,为汾河谷地向山麓过渡的丘陵区。区域内人口密度小,植被生长较好。从 1980 年至今,除农业产业基本保持稳定外,区域内基本没有进行工业开发,没有焦化企业,是介休市环境质量最好的乡镇。因此一直是介休市各类环保研究的对照区和本底区。

(3)焦化区、对照区的可比较性:从两区的自然条件而言,两区位于汾河一级阶地向二级阶地过渡的区域,海拔高度 750~850 m,土壤类型基本相似,影响生态演化的光照、热量、降水、风向风力等气候条件基本一致;1983 年以前两区均以传统农业经济为主,农业种植结构基本一致。从两区区位而言,焦化区位于对照区北 20 km 处,当地主导风向为西南风,对照区位于焦化区的侧风向,焦化区空气污染物的扩散对对照区环境影响较小;从两区的地下水水力联系上讲,对照区位于焦化区上游,焦化区废水排放不会对对照区水环境产生影响。1983 年以来对照区没有发展焦化业,空气、地下水、土壤、作物基本未受焦化污染的影响。因此,两区的监测数据具有可比性。

1.2 信息获取及分析方法

1.2.1 植被覆盖率信息来源

对焦化区和对照区的植被分布情况等生态环境信息,采用遥感信息提取。分别收集了 1983 年和 2005 年介休市义安镇、秦树乡国土资源二号卫星(3 m)和美国 TM 陆地卫星(30 m)数据,数据经几何粗校正和辐射校正达到了 2 级产品质量要求,然后采用二次多项式法对采集的遥感数据进行了几何精校正和波段组合,再利用专业遥感图像处理软件 PCL 进行了遥感信息增强,在专业地理信息软件 MAPGIS 中进

行人机交互式解译,获取焦化区、对照区植被分布等专题信息,形成了专题遥感解译图件。

1.2.2 农田土壤、作物污染数据来源

焦化业对农田土壤、作物的污染影响研究,分焦化区、对照区表层土壤和不同种类农作物(粮食、蔬菜)的食用部分,于 2005 年 9 月现场采样后,实验室分析了其中焦化特征污染物挥发酚、氰化物、B[a]P 含量。

(1)采样方法及样品制备

采样点选择:选取分布有农作物和蔬菜的土壤,分对照区和焦化区 2 个区域进行采样。每个采样地点土壤样和植物样均采用梅花形采样法布点,使样品具有代表性;每 1 个布点处同时采集 1 个植物样和 1 个土壤样。

采样深度:20 cm 左右耕层土壤。

采样时间:2005 年秋季作物生长季节。

采样量:土样反复按四分法弃取后剩余土壤约 1 kg。农作物食用部分和蔬菜的食用部分,每样取不少于 5 kg 新鲜样。

样品处理:采回的土样经自然风干后,木棒碾碎,去除砂砾和植物残体,全部通过 60 目筛备用;采回的植物样品经清洗、自然风干、剪碎,电动磨碎机粉碎后,全部通过 60 目筛备用。

(2)分析方法

挥发酚、氰化物、B[a]P 分别按照国家标准方法 GB/T7490—1987(4-氨基安替比林-氯仿萃取比色法)、GB/T7486—1987(异烟酸-吡啶啉酮比色法)、GB/T 15439—1995(高效液相色谱法)进行分析。

1.2.3 标准选用

对于有国家标准的指标,以国家标准进行比对分析;对国家无标准但有同类型产品标准者,比照同类产品标准;其余参照国外或相关论文中结论进行比对;粮食与蔬菜中挥发酚含量标准类比氰化物得出。

本研究所选标准见表 1。

2 结果与分析

2.1 焦化业对植被覆盖率的影响

对照区、焦化区 1983、2005 年各类植被面积及比例的遥感解析判断结果见表 2。由表可见,对照区植被以草地为主,占到总面积的 61%,2005 年与 1983 年相比,植被覆盖率基本未发生变化;焦化区植被全部为栽培作物,2005 年比 1983 年植被覆盖率明显降低,由 12.22%减少为 2.95%,减少了 9.27%。但从土地

利用现状调查结果分析,焦化区人为土地利用(城镇用地、农村居民地、工矿用地)2005 年比 1983 年不仅没有增加,还减少了 0.09%,可见焦化区植被覆盖率的明显降低不是由人为占用土地造成的,而与焦化业污染导致人为种植面积减少有直接关系。

2.2 焦化业对农田土壤污染影响分析

农田土壤中 3 项焦化特征污染物测定结果见表3及图 1。可以看出,焦化区土壤中挥发酚、氰化物、B[a]P

表 1 焦化特征污染物控制标准

Table 1 Standard of characteristic pollutants of coking

类型	污 染 物		
	挥发酚/mg · kg ⁻¹	氰化物/mg · kg ⁻¹	B[a]P/ μg · kg ⁻¹
农田土壤	1.0 ^[2]	1.0 ^[2]	10.0 ^[14]
粮 食	5.0 (类比氰化物)	5.0 (GB2715—81)	5.0 (GB2762—2005)
蔬 菜	5.0 (类比氰化物)	5.0 (GB2715—81)	5.0 (GB2762—2005)

表 2 调查区植被覆盖率及变化情况

Table 2 The cover rates of vegetation in coking area and contrast area

z	类型	1983 年		2005 年	
		面积/m ²	比例/%	面积/m ²	比例/%
对照区	栽培作物	10 615 874.23	11.614 057	10 615 874.23	11.614 1
	乔木类	20 992 346	22.966 200 9	21 019 012.47	22.995 47
	灌木类	27 573.063 73	0.030 166	27 573.063 73	0.030 2
	草地	55 961 296.37	61.223 189 2	55 934 539.9	61.193 917
	无植被区	3 808 302.405	4.166 387	3 808 302.405	4.166 4
	合计	91 405 392.07	100	91 405 392.07	100
焦化区	栽培作物	3 433 322.075	12.223 733	829 673.888 9	2.953 906 4
	无植被	23 681 933.13	84.315 313 7	26 285 581.31	93.585 140 3
	河流水面	972 089.880 7	3.460 953 2	972 089.880 7	3.460 953 2
	合计	28 087 345.08	100	28 087 345.08	100

表 3 土壤中焦化特征污染物含量

Table 3 Contents of characteristic pollutants of coking in soil

布点理由	样品编号	水分/%	挥发酚		氰化物		B[a]P	
			含量/mg · kg ⁻¹	占标率/%	含量/mg · kg ⁻¹	占标率/%	含量/ μg · kg ⁻¹	占标率/%
焦化区	1—1	2.36	3.280 2	3.28	0.027 6	0.028	1 704.1	0.17
	2—1	1.74	0.4	0.4	0.026 0	0.026	754.4	0.07
	3—1	2.14	0.567 5	0.57	0.020 2	0.020	2 700.0	0.27
	4—1	2.4	1.048 3	1.05	0.159 2	0.159	806.0	0.08
	5—1	1.9	0.792 5	0.79	0.032 6	0.033	2 118.1	0.212
	6—1	2.26	0.543 3	0.54	0.029 6	0.030	3 353.9	0.335
	7—1	1.77	0.352 5	0.35	0.063 4	0.063	498.9	0.050
	10—1	1.83	1.542 9	1.54	0.037 5	0.038	1 359.2	0.136
	11—1	1.76	0.904 0	0.90	0.109 6	0.109	8 016.8	0.801
	14—1	1.54	1.55	1.55	0.081 3	0.081	1 140.2	0.114
	16—1	1.35	0.835 4	0.84	0.095 4	0.095	7 742.2	0.774
	17—1	1.52	0.872 0	0.87	0.080 5	0.081	4 189.3	0.419
	19—1	1.44	1.325 3	1.33	0.063 5	0.064	2 494.9	0.249
	20—1	1.35	0.994 4	0.99	0.083 3	0.083	975.4	0.098
	平均值		1.072		0.065 0		2 703.8	
对照区	8—1	1.93	0.315 3	0.32	0.008 1	0.008	271.8	0.027
	9—1	2.28	0.190 4	0.19	未检出	—	395.1	0.040
	平均值		0.252 9		0.004 1		333.45	
焦化区/对照区			4.24		16.04		8.15	

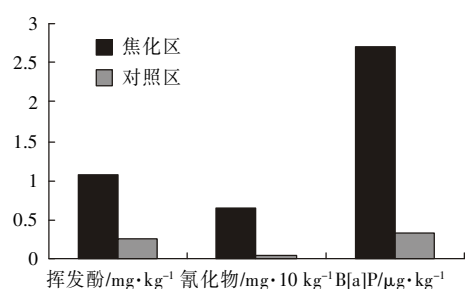


图 1 不同区域土壤中 3 项污染物含量对照

Figure 1 Contents of characteristic pollutants of coking in soil

含量明显高于对照区,上述 3 项污染物的平均含量焦化区分别是对照区的 4.24、16.04、8.15 倍。说明焦化行业排放的废气、废水对焦化区土壤产生了污染。

与控制标准相比,对照区土壤中 3 项焦化特征污染物均没有出现超标现象。而焦化区土壤中挥发酚含量超标率为 35.7%,最大超标 2.28 倍;B[a]P 含量虽不超标,但最高值达标准的 80.2%;氰化物含量没有出现超标现象。

2.3 焦化业对农作物食用部分污染影响分析

粮食及蔬菜食用部分中焦化特征污染物含量测定结果见表 4 及图 2~图 4。

由表中数据可见,粮食作物食用部分中挥发酚、氰化物、B[a]P 含量焦化区明显高于对照区,其中焦化区玉米中挥发酚平均含量是对照区的 3.05 倍, B[a]P

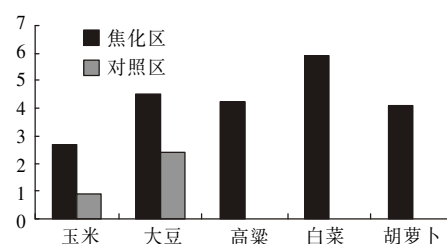
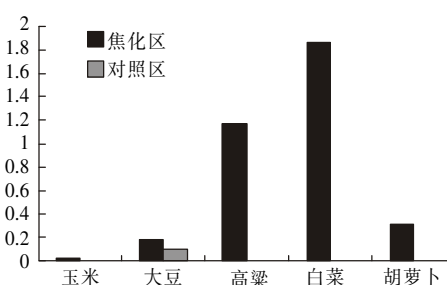
图 2 不同区域、不同农作物挥发酚含量对照($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)Figure 2 Contents of phenol in grain crops and vegetables($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)图 3 不同区域、不同农作物氰化物含量对照($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)Figure 3 Content of CN in grain crops and vegetables($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

表 4 粮食、蔬菜中焦化特征污染物含量

Table 4 Contents of characteristic pollutants of coking in grain crops and vegetables

区域	序号	挥发酚/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$					氰化物监测结果/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$					B[a]P 监测结果/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$				
		玉米	大豆	高粱	白菜	胡萝卜	玉米	大豆	高粱	白菜	胡萝卜	玉米	大豆	高粱	白菜	胡萝卜
焦 化 区	1	3.282 6	5.840 0				0.029 4	0.173 2				23.2	71.1			
	2	2.270 5	2.935 0				0.004 8	0.150 0				68.7	77.2			
	3	3.336 6	7.415 4				未检出	0.198 8				69.3	25.7			
	4	2.506 0		4.241 1			0.031 2		1.167 3			37.6		257.3		
	5	3.447 7	3.716 9				0.023 3	0.201 0				57.6	35.5			
	6	2.978 1	3.169 0				0.000 6	0.193 4				63.5	19.3			
	7	2.133 1	5.822 2				0.025 8	0.217 0				96.1	26.0			
	8	1.664 2	3.626 6				0.016 7	0.225 1				83.2	56.6			
	9	2.392 6	3.440 1				0.013 1	0.115 7				155.6	29			
	12				5.202 1	6.350 3				1.310 0	0.403 8				1 406.0	330.4
	13					3.937 8					0.394 3					319.9
	14				6.165 8					2.008 0					1 498.0	
	15				4.743 2					3.040 0					7 923.8	
	16				7.510 0	1.982 8				1.064 0	0.151 8				1 139.4	270
	平均	2.667 6	4.496 5	4.241 1	5.905 3	4.090 3	0.016 1	0.184 3	1.167 3	1.855 5	0.316 6	72.76	42.48	257.3	2 991.8	306.8
对 照 区	占标范围/%	0.332 8~ 0.689 5	0.587~ 1.483 1	0.848 2	0.948 6~ 1.502	0.396 6~ 1.270 0	0~ 0.006 2	0.023 1~ 0.045 0	0.233 5	0.212 8~ 0.608	0.078 9~ 0.080 8	0.004 6~ 0.031 1	0.003 9~ 0.015 4	0.051 5	0.227 8~ 1.584 8	0.054~ 0.066
	10	1.216 5	2.907 8				未检出	0.100 2				18.2	9.0			
	11	0.534 5	1.901 2				未检出	0.100 8				20.8	12.8			
	平均	0.875 5	2.404 5				未检出	0.100 5				19.5	10.9			
	占标范围/%	0.106 9~ 0.243 3	0.380 2~ 0.581 6	—	—	—	0	0.020 0~ 0.020 2	—	—	—	0.003 6~ 0.004 2	0.001 8~ 0.002 6	—	—	—
	焦化区/对照区	3.05	1.87	—	—	—	—	1.83	—	—	—	3.73	3.90	—	—	—

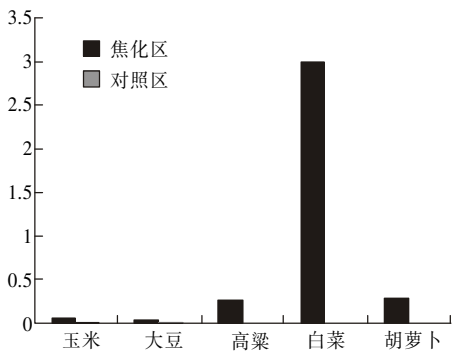


图 4 不同区域、不同农作物 B[a]P 含量对照(μg·kg⁻¹)

Figure 4 Contents of benzo (a) pyrene in grain crops and vegetables

平均含量是对照区的 3.73 倍,对照区玉米中未检出氰化物;焦化区大豆中挥发酚平均含量是对照区的 1.87 倍,氰化物平均含量是对照区的 1.83 倍,B[a]P 平均含量是对照区的 3.90 倍;由于对照区没有种植蔬菜和高粱,故未获得对比数据。以上结果说明焦化区农作物明显受到污染。

与控制标准相比,焦化区粮食作物和蔬菜中挥发酚含量占标范围为 0.332 8~1.502,超标率为 28%,最大超标倍数为 0.502 倍;对照区农作物和蔬菜中挥发酚含量占标范围为 0.106 9~0.581 6,没有出现超标现象。焦化区粮食作物和蔬菜食用部分中氰化物含量占标范围为 0~0.61,没有出现超标现象;对照区农作物和蔬菜中氰化物含量占标范围为 0~0.02,没有出现超标现象。焦化区粮食作物和蔬菜食用部分中 B[a]P 含量占标范围为 0.004~1.58,超标率为 4%,最大超标倍数为 0.58 倍;对照区粮食和作物食用部分中 B[a]P 含量占标范围为 0.002~0.004,均不超标。

总之与控制标准相比,焦化区农作物和蔬菜中挥

发酚含量出现超标现象,氰化物均未超过控制标准,B[a]P 除在焦化区有 1 个蔬菜样超标外,其余样品均未超标;对照区农作物中焦化 3 项特征污染物均不超标。

(1)不同粮食作物食用部分污染物含量对比

无论是焦化区还是对照区,所有大豆样品中的挥发酚和氰化物含量皆高于玉米;但对于 B[a]P 这一指标来说,80%的玉米污染物含量高于大豆。

高粱中挥发酚接近大豆,但 B[a]P 和氰化物含量远远高于大豆和玉米,尤其是氰化物,是玉米中平均含量的 72.5 倍,是大豆中平均含量的 7.1 倍,这和人研究结果一致^[3]。说明高粱宜吸收焦化特征污染物。但由于高粱样品只有 1 个,仅供参考。

(2)不同蔬菜食用部分污染物含量对比

所有白菜样品中 B[a]P、氰化物含量皆高于胡萝卜,其中 B[a]P 平均含量是胡萝卜的 9.8 倍,氰化物平均含量是胡萝卜的 5.9 倍;多数白菜中挥发酚含量高于胡萝卜。可见,叶菜类蔬菜与根茎类蔬菜相比,更易吸收焦化污染物。

(3)粮食与蔬菜污染物含量对比

将粮食与蔬菜食用部分中焦化特征污染物含量进行对比发现,白菜中 3 项污染物含量远高于粮食,胡萝卜中污染物含量与粮食接近,白菜是所有监测作物中最宜富集焦化特征污染物的。

2.4 作物对土壤中焦化特征污染物的吸收与富集

采用作物中污染物含量与植物所生长土壤污染物含量对比的方法,说明作物对焦化特征污染物的吸收与富集特点。

表 5 是粮食样及蔬菜样中污染物含量与其所生长土壤中污染物含量的测定结果汇总。

表 5 土样、粮食样、蔬菜样污染物含量测定结果汇总表

Table 5 Contents of characteristic pollutants of coking in soil, grain crops and vegetables

区域	样品	样品数	挥发酚 /mg·kg ⁻¹	与土壤中含 量 相对比率	氰化物 /mg·kg ⁻¹	与土壤中含 量 相对比率	B[a]P /μg·kg ⁻¹	与土壤中含 量 相对比率
焦化区粮食平均值	土样	9	1.048 0		0.056 3		2367.9	
	玉米	9	2.667 9	2.55	0.016 1	0.29	72.76	0.03
	大豆	8	4.496 5	4.29	0.184 3	3.27	42.48	0.02
	高粱	1	4.241 1	4.05	1.167 3	20.73	257.3	0.11
焦化区蔬菜平均值	土样	5	1.115 4		0.072 8		3 308.4	
	白菜	4	5.905 3	5.29	1.855 5	25.49	2 991.8	0.90
	胡萝卜	3	4.090 3	3.67	0.316 6	4.35	306.8	0.09
对照区平均值	土样	2	0.252 9		0.004 1		333.45	
	玉米	2	0.875 5	3.46	未检出	—	19.5	0.06
	大豆	2	2.404 5	9.51	0.100 5	24.51	10.9	0.03

由表中数据可见:(1)无论是粮食还是蔬菜,其中 B[a]P 含量全部低于其所种植土壤的含量,而挥发酚和氰化物在绝大多数作物样品中高于其所种植土壤含量,说明对于焦化 3 项特征污染物来说,作物对 B[a]P 不易富集,对挥发酚和氰化物则容易富集;(2)粮食与蔬菜相比较,叶菜类蔬菜较粮食更易吸收土壤中焦化特征污染物;(3)粮食作物中,高粱最易吸收土壤中焦化业特征污染物,大豆次之,玉米相对受焦化污染影响较小;(4)在焦化区种植的蔬菜中,白菜对土壤中焦化特征污染物吸收富集能力较胡萝卜强。

3 结论与建议

(1)受焦化业影响,焦化区因污染导致人为种植植被面积大量减少,20 年间减少了 9.27%。

(2)与对照区相比,焦化区 20 余年持续炼焦导致土壤、粮食作物及蔬菜明显受到污染,其中,焦化区粮食作物及蔬菜中挥发酚与 B[a]P 含量已出现超标现象,不可食用。

(3)与粮食作物相比较,蔬菜类作物更易受焦化业的污染;在蔬菜中,叶菜类较根茎类易受污染。

(4)焦化业 3 项特征污染物相比较,挥发酚和氰化物易被作物吸收,而 B[a]P 相对不易进入作物体。

(5)焦化区环境已受严重污染,已不适合种植粮食、蔬菜等食用作物,建议合理调整全市农业生产布局,即在焦化区尽量不要种植农作物,而要以种植生态作物为主,选择抵抗力强,能吸收有毒气体的树种和滞尘能力强的大叶树种,如臭椿、紫丁香、桧柏、法国梧桐、加拿大杨、大叶黄杨、玫瑰、国槐、榆树,以改善焦化区的生态环境。

(6)人类剧烈的开发建设活动,在获取一定经济

效益的同时,对生态环境已造成了严重破坏,建议当地政府积极调整产业结构,发展循环经济,并加强对现有焦化企业的环境整治,以减轻焦化业对当地生态环境的压力。

参考文献:

- [1] 夏增禄. 酚、氰化物在植物、土壤、地下水中的迁移、转化和预测[C] //区域环境学术讨论会文集. 北京:1977.
- [2] 齐恩山. 沈阳西部污水中酚、氰化合物在土壤-水稻系统中的残留研究[J]. 生态学杂志,1987,6(2): 1-5.
- [3] 董启锋. 高粱中氰化物的测定及其分布规律的研究[J]. 环境保护科学,1996,22(2):59-61.
- [4] 王慎强. 我国土壤环境保护研究的回顾与展望[J]. 土壤,1999, 25(5): 255-260.
- [5] 王 瑾. 焦化区生态环境可持续发展力评价指标体系研究[J]. 山西农业大学学报,2005, 4(3): 232-234..
- [6] 智红梅. 焦化工业与环境保护[J]. 科技情报开发与经济,2005, 15 (24): 119-120.
- [7] 杨国栋. 焦炭生产对空气及土壤的污染调查[J]. 环境与健康杂志, 2000, 17(1): 31-33.
- [8] 王 静. 某焦化厂空气中 PAHs 的污染现状及健康风险评价[J]. 环境科学, 2003, 24(1):135-138.
- [9] 刘大锰. 首钢焦化厂环境中多环芳烃分布赋存特征研究[J]. 环境科学学报,2004, 24(4):746-749.
- [10] 周才鑫. 焦化厂酚类污染的分布特点及环保对策[J]. 环境工程, 1989, 7(5):51-55.
- [11] 王爱玲. 运城市郊区蔬菜中苯并(a)芘污染现状调查[J]. 环境科学研究,1991, 4(3):60-62.
- [12] 朱有为. 杭州市菜区苯并(a)芘污染状况的分析及防治对策[J]. 环境污染与防治,1990, 12(6):18-21.
- [13] 李永和. 3-4 苯并芘(BaP)对粮食及仪器的污染[J]. 粮食科技与经济,1997, 4:37-38..
- [14] 张树礼. 呼和浩特市郊区土壤与蔬菜中苯并芘(BaP)的污染现状研究及其防治对策[J]. 干旱区资源与环境,1991, 5(2):86-91.