

418-425

28566(12)

第17卷第4期

生态学报

Vol. 17, No. 4

1997年7月

ACTA ECOLOGICA SINICA

Jul., 1997

大气-土壤-小麦生态系统中铅的 分布和迁移规律研究

刘玉萃 李保华 吴明作

(河南农业大学生态环境研究室, 郑州, 450002)

A

摘要 研究铅在国道附近大气-土壤-小麦生态系统中的分布及其迁移规律。结果表明, 大气中铅浓度与汽车流量成正比, 而与风速、温度等相关性不明显; 距公路越近, 土壤及小麦中铅的含量越高, 含量与距离呈一定的负相关性, 5m 及 60m 为其转折点; 铅在土壤中由上向下及在小麦体中由根向茎、穗的迁移较小; 小麦各器官中铅含量大小依次为根>叶>穗>茎>籽。叶片、穗尚可从大气中直接吸收部分铅。在小麦不同生长阶段中, 各器官积累铅量不同, 其积累随生长期的延长而加大。

关键词: 铅, 大气-土壤-小麦, 生态系统, 分布, 迁移。

DISTRIBUTION AND MOVEMENT OF LEAD IN THE AIR-SOIL-WHEAT ECOSYSTEM

Liu Yucui Li Baohua Wu Mingzuo

(Forestry Department, He'nan Agricultural University, Zhengzhou, 450002, China)

Abstract In this paper, the distribution and movement of lead in the air-soil-wheat ecosystem around the 107th state road were studied. The lead density (LD) in the air varied with a positive proportion to traffic volume, but there was no obvious correlation with wind speed and air temperature. The LD in soil or wheat organs, which showed a negative proportion to the distance from the state road, had two suddenly dropping points at 5m and 60m, but only a very little movement in soil from upper to lower layer, or in the wheat from root to stem, seed, ect.. The LD order in wheat organs was root>leaf>ear>stem>seed. The leaf or ear could also absorb lead from the air. Wheat organs had different lead accumulation in their different growing stage. As wheat grows, its organs could accumulate more lead.

Key words: lead, air-soil-wheat, ecosystem, distribution, movement.

铅在人体中的积累可引起铅中毒, 因此许多科研工作者对铅污染进行了研究。国外对公路附近土壤中铅的分布进行了一些实地研究, 报道了铅在土壤中的含量与汽车流量及与距公路距离的关系^[1~2], 同时也

收稿时间: 1995-09-10, 修改稿收到时间: 1996-06-05。

对铅污染植物的情况进行过研究,报道了铅对植物生理作用及其对作物产量的影响。^[1,3-4]

我国科研工作者也开展了铅污染方面的研究,分别利用了盆栽及实地对铅的污染影响及水稻、蔬菜等作物的反应进行了研究^[7-10],同时也对土壤中铅的形态、土壤-作物系统中铅的迁移规律、铅的临界含量等进行了研究^[11-14],但对公路附近的实地研究较少。^[15]本研究主要是考察大型公路建设运行期间铅对自然环境的影响,研究大气-土壤-小麦生态系统中铅的迁移及其相互关系。

1 材料和方法

107 国道位于郑州市东郊,为南北向沥青公路,15m 宽,两侧无行道树。全年主导风向为东北风。

在 107 国道郑州段由北向南依次在十八里河乡中桥、尚庄、大桥 3 地设采样点(相距各为 3km 以上),3 点周围无大的污染源。由公路向东西两侧分别采取土壤、小麦及大气样品,采样点与公路两侧距离为 0(路边)、5、15、30、60、100、200、300m。小麦样品是在各生长季、各样点取 1m² 内全部小麦,分不同器官采集测定;土样在小麦成熟期采集,分 10~20cm、20~40cm、40~60cm 等 3 个层次;大气样采集粉尘,只采集主导风向风侧(西侧)样,每季节连续 5d,常规监测方法;同时测定风速、气温及各种类型的汽车流量。

土样在室内风干后研磨过 0.25mm 筛,在 65℃ 下烘干称重,采用 HCl-HNO₃-HClO₄ 湿消化法,0.5mol 醋酸提取有效态铅;植物样品经去离子水洗涤后 65℃ 烘干粉碎过 0.25mm 筛,然后用 HNO₃-HClO₄ 湿消化法;大气样品由 HNO₃-HClO₄ 溶液消化处理滤膜。所有样品定容后过滤,用 3200 型原子吸收分光光度计测定铅含量,结果以干重表示,采用 3 个地点的平均值作为最终结果讨论。

2 结果分析与讨论

2.1 大气中铅含量的变化

于测点所测气象条件及汽车流量等如表 1 所示;大气中铅浓度及粉尘浓度变化如表 2 示。结合表 1 可以看出:①大气中铅浓度的日变化与粉尘浓度的日变化一致,每日以 8:00~11:00 及 15:00~18:00 两个时段最高,与相应的汽车流量变化也一致,两者相关系数 r 可达 0.9743。②铅浓度的季节变化没有粉尘的显著,但规律基本一致,为秋冬季高于春夏季。③大气中铅浓度的变化与风速及温度的相关关系不甚明显,相关关系极小(0.1800 及 0.2394)。④距公路距离越远,其浓度越小,相关系数 r 可达 -0.9100。

表 1 测点的风速(S)、温度(T)、汽车流量(D)平均值

Table 1 Mean value of wind speed, air temperature, automobile discharge

时间 O'clock	春 Spring			夏 Summer			秋 Autumn			冬 Winter		
	S	T	D	S	T	D	S	T	D	S	T	D
	(m/s)	℃	(in 3h)	(m/s)	℃	(in 3h)	(m/s)	℃	(in 3h)	(m/s)	℃	(in 3h)
8:00~11:00	1.72	19.21	1890	1.15	32.86	1603	1.03	17.70	1894	2.63	2.3	1918
12:00~15:00	2.47	27.88	1387	1.86	36.99	1193	1.29	22.20	1766	2.14	5.51	1688
15:00~18:00	2.53	27.46	1834	1.57	36.14	1510	0.76	21.30	1960	1.55	4.01	2008
20:00~23:00	1.67	16.40	1042	0.63	30.00	806	0.55	13.71	1184	2.60	3.00	1443

2.2 土壤中铅含量的分布及迁移

2.2.1 土壤表层铅含量的变化 铅在土壤中主要以水溶交换态的有效铅及不溶于水的铅两种状态存在,其和为全铅,从表 3 的测定结果可以看出,土壤表层全铅含量与样点至公路的距离存在着负相关关系,其 r 可达 -0.8258,说明离公路越近,土壤受汽车废气的污染越严重,铅的积累值也越高,与大气中铅浓度变化一致,说明土壤中铅主要是由于大气中铅沉降而造成的。

表层土中铅的含量在两侧都表现出两个转折点:其全铅含量从 0 m 处的 168.70mg/kg 急降至 5 m 处的 102.10mg/kg,经过较缓下降阶段后由 60m 处的 87.94mg/kg 又急降至 100m 处的 47.99mg/kg(西侧数值),因此可以认为 5m 及 60m 为其两个转折点,大气中铅含量变化也有此现象,这主要是因为铅颗粒物不同粒径的沉降行为而引起的。同时可看出,由于常年主导风向的影响,下风向样品(西侧)铅含量高于相对

表 2 大气粉尘及铅浓度测定结果(mg/kg)
Table 2 Value of particles (VP) and lead (VL) in air

距离(m) Distance	项目 Item	春 Spring						夏 Summer						秋 Autumn						冬 Winter					
		8:00	12:00	15:00	18:00	20:00	23:00	8:00	12:00	15:00	18:00	20:00	23:00	8:00	12:00	15:00	18:00	20:00	23:00	8:00	12:00	15:00	18:00	20:00	23:00
0	VP	641.7	542.5	630.3	517.1	631.1	521.7	623.0	524.1	696.8	551.5	713.7	531.3	880.4	641.7	909.8	640.2								
	VL	8.0	5.1	8.1	4.5	6.3	4.7	6.7	3.8	8.2	5.8	9.6	4.6	9.0	5.8	9.5	5.1								
5	VP	580.3	491.3	570.4	467.9	564.8	476.9	557.6	479.0	641.9	507.9	657.4	498.4	852.3	621.1	882.6	619.8								
	VL	7.2	4.6	7.4	4.1	5.7	4.0	6.0	3.5	7.6	5.3	8.8	4.2	8.7	5.5	9.2	5.0								
15	VP	528.7	446.7	518.8	424.9	535.7	436.4	528.3	444.6	637.8	502.5	650.3	485.0	814.5	592.2	839.7	590.9								
	VL	6.6	4.1	6.7	3.6	5.3	4.0	5.7	3.2	7.5	5.1	8.7	4.0	8.3	5.3	8.8	4.8								
30	VP	478.1	404.2	469.7	385.2	529.6	416.1	420.9	438.1	533.3	422.5	546.7	407.0	562.8	398.8	659.5	461.7								
	VL	5.9	3.8	6.0	3.3	5.2	3.9	5.2	3.0	6.3	4.4	7.3	3.5	5.5	4.0	6.0	3.9								
60	VP	281.7	259.8	297.5	215.7	395.4	304.1	391.5	289.3	252.9	299.6	258.4	198.3	331.8	241.3	342.1	240.7								
	VL	4.0	2.7	3.9	2.6	3.2	2.3	3.5	2.0	3.0	2.1	3.5	1.7	3.4	2.2	3.6	1.9								
100	VP	188.9	153.0	177.0	145.8	178.9	149.1	195.7	147.8	149.8	119.0	148.3	108.9	195.0	141.8	202.0	140.4								
	VL	2.1	1.4	2.2	1.2	1.8	1.4	2.0	1.1	1.7	1.2	2.0	1.0	2.0	1.3	2.0	1.1								
200	VP	99.2	83.0	96.8	79.8	124.0	102.8	122.0	103.0	128.9	102.0	132.1	98.4	90.0	65.4	92.8	65.3								
	VL	1.2	0.8	1.2	0.7	1.2	1.0	1.2	0.7	1.5	1.1	1.8	0.9	0.9	0.6	1.0	0.5								

应的上风向样品(东侧)铅含量,这也说明土壤铅主要来源于大气铅,但两侧数值变化是一致的。表层土壤有效铅含量基本上占全铅含量的三分之一,其变化规律与全铅基本一致。

表 3 土壤铅含量的测定结果 (mg/kg)

Table 3 Value of lead in soil

土层(cm) Soil layer	项目 Item	方位 Side	距离 Distance (m)							
			0	5	15	30	60	100	200	300
0~20	全铅	E	163.70	96.95	91.87	88.70	86.76	45.33	23.21	23.80
	Total lead	W	168.70	102.10	87.80	90.57	87.94	47.99	24.57	23.34
	有效铅	E	33.20	31.26	29.93	28.31	27.54	14.23	10.21	8.89
	Effective lead	W	33.70	32.46	29.83	27.95	27.13	14.36	10.32	8.94
20~40	全铅	E	67.95	54.85	42.36	35.14	24.53	20.38	20.36	21.27
	Total lead	W	62.80	58.25	44.65	34.57	23.14	21.34	22.89	21.18
	有效铅	E	16.40	14.76	11.35	10.86	9.94	10.51	8.39	7.86
	Effective lead	W	17.82	14.42	11.18	10.80	10.05	10.31	8.89	7.47
40~60	全铅	E	37.20	26.15	24.51	25.89	23.32	23.87	23.89	23.05
	Total lead	W	39.45	25.95	24.76	24.58	23.96	23.94	23.14	23.66
	有效铅	E	5.81	4.94	4.87	4.94	4.79	4.25	4.64	4.86
	Effective lead	W	5.58	5.03	4.80	4.76	4.71	4.07	4.13	4.54

注:E——路东侧样品;W——路西侧样品,后面同此。

Note:E—the east side of road;W—the west side of road. They're the same later.

2.2.2 土壤剖面中铅的迁移 从铅的纵向分布看(表3),土壤深度20~40cm处,铅含量即大幅度下降,最大下降幅度达50%以上。当深度大于40cm时,土壤全铅含量基本稳定在23~25mg/kg范围内,可认为已达到土壤中铅含量背景值^[16]。同时路两侧20cm以下深度铅含量相差不大,说明铅在土层中迁移性很小,其分布差异极显著,大气中铅对土壤深层铅含量影响不明显。

土壤有效铅的纵向分布迁移规律基本上吻合于土壤全铅。

2.3 小麦体中铅含量的分布与迁移

2.3.1 返青期小麦不同部位的铅含量 在小麦返青期,根中铅含量也出现5m以及60m两个转折点,而叶中铅含量只有60m处一个(表4),基本上与大气及土壤表层铅浓度变化一致,而且根铅含量远大于叶铅含量,说明它们之间是相关的;小麦主要通过根系吸收土壤中铅,并向植物体上部运输。

表 4 返青期小麦根与叶中铅含量(mg/kg)

Table 4 Lead value in root and leaf when wheat turning green

器官 Organs	方位 Side	距离 Distance (m)							
		5	15	30	60	100	200	300	
根 Root	E	120.06	100.17	88.94	74.32	38.85	28.94	27.12	
	W	121.92	95.20	88.40	76.86	38.60	29.32	27.94	
叶 Leaf	E	74.71	69.32	66.86	68.34	26.38	16.50	15.17	
	W	75.77	68.64	69.99	69.36	27.18	16.72	15.32	

2.3.2 拔节期小麦不同部位的铅含量 拔节期小麦茎铅含量远低于其根、叶中铅含量,其大小依次为根>叶>茎(表5),同时路西侧叶铅含量大于东侧的相应值,说明叶片还可积累从大气中吸收而来的铅,而铅在植物体内由根向茎迁移积累较小,茎主要起输导作用。同时也可看出,在60m处仍存在铅含量的转折点。

2.3.3 开花期小麦各部位的铅含量 为更好地研究铅在小麦茎、叶中含量的分布,在开花期及成熟期将茎均匀地分成3段,分别测定其铅含量,从下自上分别以1、2、3代表,其结果如表6。从表中可以看出,麦穗中铅含量远低于根、叶中铅含量,但又高于茎2、茎3中铅含量,说明麦穗也可从空气中直接吸收少量的铅。

表 5 拔节期小麦各器官铅含量(mg/kg)

Table 5 Lead value in root and leaf when wheat turning green

器官 Organs	方位 Side	距离 Distance (m)						
		5	15	30	60	100	200	300
根	E	74.86	67.75	55.67	52.47	22.10	20.46	11.67
Root	W	76.90	67.70	60.94	52.82	22.12	20.33	11.48
茎	E	20.16	16.32	13.32	11.31	6.67	3.14	3.32
Stem	W	20.24	16.69	13.46	11.65	6.45	4.45	3.15
叶	E	53.58	42.56	43.51	41.37	19.87	12.39	11.42
Leaf	W	56.36	44.84	46.37	43.21	20.36	11.53	10.47

表 6 开花期小麦各部位铅含量(mg/kg)

Table 6 Lead value in wheat's several parts at wheat's florescence

部位 Part	方位 Side	距离(m) Distance						
		5	15	30	60	100	200	300
根	E	54.35	48.56	45.89	37.36	18.48	13.29	10.67
Root	W	55.60	51.23	46.36	38.74	18.89	14.31	9.32
茎 1	E	24.97	23.95	19.94	19.95	9.99	8.95	8.41
Stem I	W	25.64	23.21	20.16	19.14	9.67	8.14	7.32
茎 2	E	14.79	11.56	8.49	6.04	5.79	3.93	3.18
Stem II	W	14.65	11.17	8.97	6.34	5.34	3.32	3.79
茎 3	E	9.93	8.31	5.02	4.97	3.97	3.32	3.03
Stem III	W	10.21	8.37	5.32	4.13	3.74	3.25	3.45
叶 1	E	72.67	71.94	70.68	63.37	29.64	25.48	11.49
Leaf I	W	73.54	72.15	71.67	65.35	30.50	26.08	12.57
叶 2	E	49.37	46.74	40.58	36.46	17.93	14.06	9.78
Leaf II	W	50.67	46.69	42.37	37.74	18.36	14.31	9.96
叶 3	E	38.56	46.89	37.55	35.77	15.21	12.13	8.44
Leaf III	W	39.32	45.45	38.67	33.67	15.97	12.99	8.36
穗	E	21.84	16.63	9.96	8.13	7.48	6.14	6.57
Ear	W	22.07	16.83	11.18	8.67	7.39	6.61	6.32

下部叶片铅含量大于中、上部叶片铅含量,这种现象与其生长积累及在空气中暴露时间长有关;茎中铅含量也有类似现象,它与生长积累有关,因此在利用麦秸时应引起重视。

各器官中铅含量仍表现出路两侧的差异及 60m 处的转折点,但后一个现象在麦穗中以及茎 2、茎 3 中已不明显。

2.3.4 成熟期小麦各器官铅含量 从表 7 看出,小麦籽粒中铅含量均小于 10mg/kg,且随着距公路距离的增加含量变化不大,路两侧铅含量差异也不明显,说明其它器官中的铅向籽中转移不多。此时期小麦的铅含量仍表现出与开花时期相似的规律性,但籽实表现不明显。

2.3.5 小麦生长过程中铅的变化 将表 4~7 中小麦不同器官在 4 个生长时期的铅含量作一比较。可以看出,各个时期中铅由根向茎的迁移很小。同时地上部分各器官由于生长积累及暴露时间的加长,其铅含量在增加,而根由于担负着运输的主要任务而基本与此规律相反。可见,虽然铅的迁移性很小,但仍然有一定的迁移和积累,所以各器官铅含量表现出基本一致的变化规律。

表 7 小麦成熟期各部位铅含量(mg/kg)

Table 7 Lead value in wheat's several parts at wheat's mature period

部位 Part	方位 Side	距离 Distance (m)						
		5	15	30	60	100	200	300
根	E	57.87	49.34	46.85	40.54	19.96	14.39	9.43
Root	W	57.25	49.86	47.96	40.48	19.43	14.96	10.37
茎 1	E	29.62	28.20	22.08	21.57	12.34	11.76	9.87
Stem 1	W	30.36	30.69	26.47	21.53	13.45	10.94	9.32
茎 2	E	18.96	15.47	13.64	11.14	8.79	7.45	7.26
Stem 1	W	19.38	16.64	13.57	11.32	8.66	7.59	7.30
茎 3	E	15.07	13.29	9.98	9.39	7.94	7.39	6.03
Stem 1	W	14.56	12.31	10.59	8.67	7.53	7.65	6.41
叶 1	E	81.89	76.94	73.14	67.39	37.94	23.49	11.95
Leaf 1	W	81.31	78.15	74.89	68.97	38.09	22.93	12.43
叶 2	E	58.95	51.53	46.31	42.46	21.97	16.07	10.31
Leaf 1	W	57.89	51.32	47.68	42.38	21.54	16.93	10.89
叶 3	E	47.91	46.37	42.17	42.84	16.32	13.31	8.83
Leaf 1	W	45.47	47.64	43.49	41.59	17.63	13.40	9.09
穗	E	24.96	18.47	11.13	9.41	7.63	6.43	6.71
Ear	W	25.18	18.39	12.20	9.58	8.94	6.27	6.45
籽	E	8.48	8.67	7.43	6.99	6.74	6.48	6.56
Grain	W	8.96	8.35	7.47	6.13	6.89	6.37	6.25

2.3.6 成熟期大气-土壤-小麦生态系统中铅的分配 成熟期可以包括籽实的铅积累,这是人们的主要关心点,故以此期来说明铅在大气-土壤-小麦生态系统中的分配,其结果如图 1 所示(西侧样品)。

图中 b_i 为累积系数,表示铅迁移过程中前一个贮库对后一个贮库的累积效应,由相关分析计算得出。 b_7 之所以大于 1,是因为叶片尚可从大气中吸收铅, b_1 、 b_2 、 b_{10} 及 b_{11} 较大,与大气中铅沉降有关,说明生态系统中大气-土壤间铅的移动较大,而在土壤-小麦系统、小麦体内铅的迁移较小。

2.3.7 成熟期铅的积累与生物量的关系 采收成熟期小麦各器官以获得其生物量,绘制生物量与相应部位中铅含量的结构图(图 2),图中

铅含量为成熟期路西侧样品。由图可看出,单位生物量中铅含量以叶与根为高,根为主要吸收运输器官,叶中铅含量与大气中铅关系较大。相应的穗、籽中铅含量占其生物量的比例最小。同时还可看出,5m 及 300m 两个距离的铅含量与生物量关系表现出一致的分布规律,但单位生物量中铅含量 5m 处远大于 300m 处。

3 结论

3.1 路两侧大气铅含量与汽车流量成正比,与风速、温度等相关性不明显,与大气中粉尘成正相关,但季

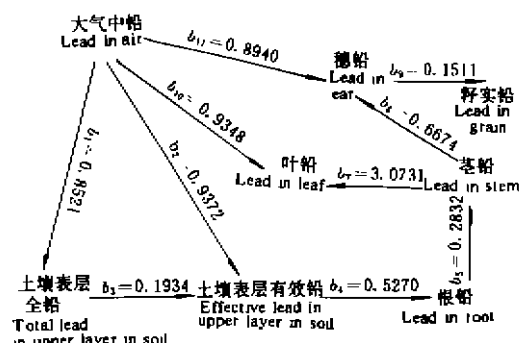


图 1 大气-土壤-小麦生态系统中的分配

Fig. 1 Distribution of lead in air-soil-wheat ecosystem

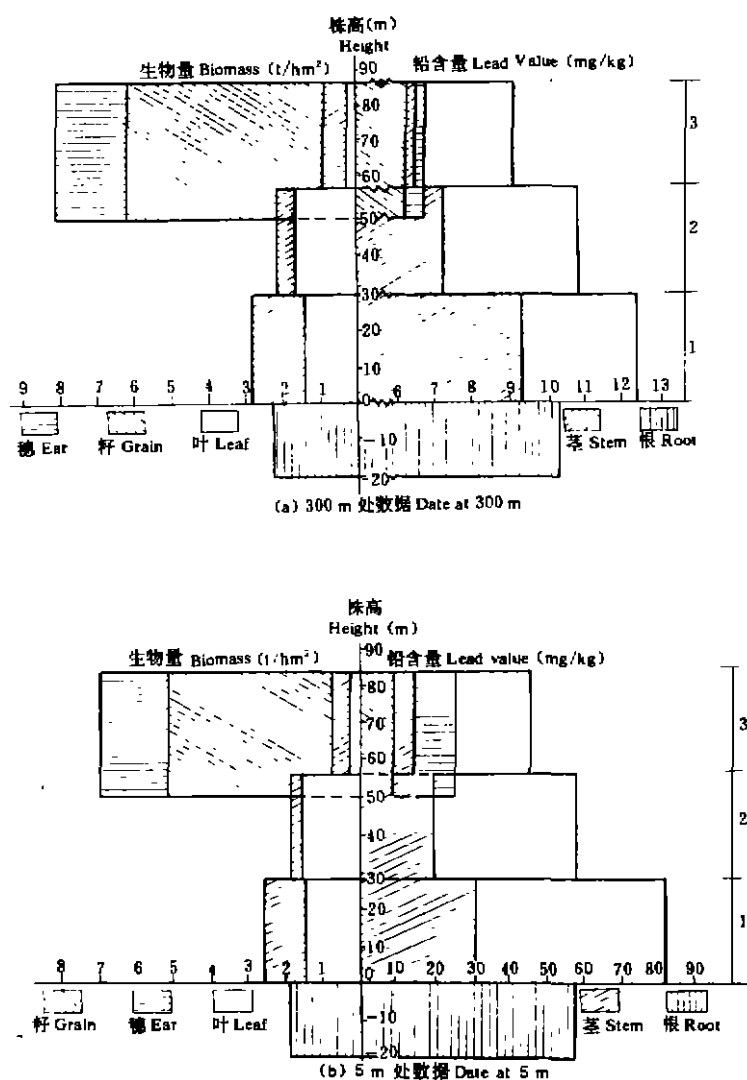


图 2 成熟期铅的积累与生物量的关系

Fig. 2 Relationship between lead accumulation and wheat biomass at wheat's mature period

节变化相对不显著。

3.2 公路两侧土壤铅由上层向下层迁移较小。深层铅含量比较稳定,而表层铅含量则与其距公路距离、大气铅含量相关,并与后者一起表现出 5m 及 60m 两处急降转折点,并且下风向含量高于上风向的铅含量。

3.3 小麦各器官含铅量主要由根从土壤中吸收有效铅而来,叶片和穗尚可由大气中吸收少量铅。小麦体内铅含量在 60m 处有一急降点,但籽实含量低而稳定,此点不明显。

3.4 铅在小麦体内迁移性小,但仍有一定的累积效应,随生长期的延长,各器官铅的积累量加大,但速度减缓。

3.5 距公路距离越远,单位生物量中铅含量比例越小,但对应关系变化规律一致。

参 考 文 献

- 1 Deroanne-Léwin J, Delcarte E, Impens R. Monitoring of lead deposition near highways: A ten years study. *The Sci. of the Total Environ.*, 1987, (59):257~266
- 2 Ward N I, Reeves R D, Brooks R R. Lead in soil and vegetation along a New Zealand state highway with low traffic volume. *Environ. Pollut.*, 1975, (9): 243~251
- 3 Wheeler G A, Rolfe G L. The relationship between daily traffic volume and the distribution of lead in roadside soil and vegetation. *Environ. Pollut.*, 1979, (9):265~274
- 4 Foner H A. Traffic lead pollution of some edible crops in Israel. *The Sci. of the Total Environ.*, 1987, (59):309~315
- 5 Lee K C, Conningham B A, Chung K H, *et al.* Lead effects on several enzymes and nitrogenous compounds in soybean leaf. *J. of Environ. Qual.*, 1976, 5(4): 357~359
- 6 Hooshang M, Hans P. Effects of road-traffic pollutants (lead and cadmium) on tree fineroots along a motor road. *Plant and soil*, 1989, (119):1~5
- 7 郑春荣,陈怀满. 土壤-水稻体系中污染重金属的迁移及其对水稻的影响. *环境科学学报*, 1990, 10(2):145~151
- 8 赛争霞. 土壤中的铅对三种蔬菜的影响. *环境科学学报*, 1987, 7(3):367~371
- 9 赛争霞,胡荣梅. 土壤铅对污染及其对植物的影响. *农业环境保护*, 1988, 7(3):38~39
- 10 任继凯,陈清朗,陈灵芝. 土壤中镉、铅、锌及其相互作用对作物的影响. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1982, 6(4):320~329
- 11 周鸿,曲仲湘,王焕校. 铅对几种农作物的影响及迁移积累规律初探. *环境科学学报*, 1983, 3(3):222~233
- 12 杨居荣,车宇翔,刘坚. 重金属在土壤-植物系统的迁移、累积特征及其与土壤环境条件的关系. *生态学报*, 1985, 5(4):306~314.
- 13 夏增禄,穆从如,李森照等. 北京东郊作物对重金属的吸收及其与重金属在土壤含量与存在形态的关系. *生态学报*, 1983, 3(3):277~285
- 14 何峰,涂从,苗金燕. 土壤铅有效态临界含量的研究. *农业环境保护*, 1992, 11(2):84~87
- 15 陈维新,张王龙,陈中赫等. 沈阳东郊沈抚公路两侧土壤铅含量分布规律的初步研究. *农业环境保护*, 1990, 9(2):10~13
- 16 中国科学院土壤背景值协作组. 北京、南京地区土壤中若干元素的自然背景值. *土壤学报*, 1979, 16(4):319~328