

# 粉煤灰改良砂姜黑土对麦田生态因子及重金属残留的影响\*

马新明\*\* 王小纯 丁军 高尔明 杨青华 (河南农业大学农学院, 郑州 450002)

**【摘要】**采用盆栽试验, 研究了粉煤灰改良砂姜黑土对麦田生态因子及 Cd、Cr、Pb、Hg 和 As 残留的影响。结果表明, 粉煤灰改良砂姜黑土可以降低土壤容重和土壤比重, 减少土壤粘粒含量, 增加土壤孔隙度和土壤渗透系数, 提高耕层地温, 促进土壤微生物活动和养分转化; 土壤含水量高时具有散湿作用, 土壤含水量低于 10% 后, 具有保墒作用; 在粉煤灰用量为  $6 \times 10^4 \sim 18 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  的条件下, 土壤及小麦子粒中重金属元素的积累量远低于国际污染标准值, 即在此范围内, 施用粉煤灰改良砂姜黑土是安全可靠的。

**关键词** 粉煤灰 砂姜黑土 生态因子 残留 土壤改良

文章编号 1001-9332(2001)04-0610-05 中图分类号 S156, X53 文献标识码 A

**Effect of Shajiang black soil amended by coal fly ash on ecological factors and residue of heavy metal in wheat field.**

MA Xinming, WANG Xiaochun, DING Jun, GAO Ermeng, YANG Qinghua (*Agronomy College of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002*). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2001, 12(4): 610~ 614.

The effect of Shajiang black soil amended by coal fly ash on ecological factors in wheat field and residue of Cd, Cr, Pb, Hg and As were studied by pot experiment. The results showed that applying coal fly ash into Shajiang black soil could decrease soil density, soil proportion and clay content, but increase soil porosity, filtration coefficient and soil temperature. Moreover, it could promote water evaporating when soil moisture was high and keep soil water when lower than 10%. It also could facilitate activity of soil microorganism and promote soil nutrient transforming. With  $(6 \sim 18) \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  coal fly ash applied in Shajiang black soil, the accumulated quantity of Cd, Cr, Pb, Hg and As in soil and in wheat grain were lower than international standard index of pollution. Therefore, Shajiang black soil amended by coal fly ash was safe and reliable within the above range.

**Key words** Coal fly ash, Shajiang black soil, Ecological factor, Residue, Soil amended.

## 1 引言

砂姜黑土是我国黄淮地区主要的中低产田土壤, 主要特征是“粘、薄、僵”。针对砂姜黑土存在的问题, 前人已做过改良方面报道<sup>[9, 14]</sup>。近年来, 粉煤灰的大量排放对环境造成了较大的影响, 粉煤灰含有 Cd、Cr、Pb、Hg 和 As, 因此, 粉煤灰在农业中的应用引起人们的关注。吴燕玉等<sup>[17, 18]</sup>对高浓度污染物在苜蓿、小麦、水稻、大豆等籽实中有害元素含量的研究后认为, 在三分之一高浓度剂量条件下, 各作物籽实的重金属含量均超出了卫生标准值; 余国营<sup>[20]</sup>采取水培方法, 进一步研究了大豆根、茎、叶对有害元素的积累特点。粉煤灰用于复合肥料添加剂<sup>[19]</sup>或土壤改良剂的研究<sup>[6, 10]</sup>已有较多报道。但是, 这些研究分别是粉煤灰对红壤土、砂质土等土壤物理性状与作物产量的因素关系<sup>[2, 3, 7, 11~ 13, 15]</sup>, 而对砂姜黑土这一特定土壤的改良效果, 尤其是关于重金属积累与污染的研究报道尚少。为此, 1997~ 1999 年在大田试验的基础上, 采用盆栽试验方法, 较系统地探讨了粉煤灰改良砂姜黑土对麦

田生态因子的影响效果及其重金属的残留与积累问题, 目的是通过对粉煤灰改良砂姜黑土及其安全性问题的系统研究, 为粉煤灰在农业上的开发利用和探讨砂姜黑土新的改良途径提供理论依据与技术指导。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料与设计

试验采用盆栽方法, 供试土壤取自平舆县李屯村, 为典型砂姜黑土, 土壤养分含量为: 有机质  $10.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效 N  $9.89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效 P  $6.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效 K  $72.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 供试小麦品种为豫农 118, 粉煤灰由驻马店电厂提供。

试验设于本校网室, 4 个处理, 粉煤灰折合大田用量分别为  $6 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $T_1$ )、 $12 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $T_2$ ) 和  $18 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  ( $T_3$ ), 以不施粉煤灰为对照 ( $T_0$ )。盆钵直径 30cm, 深 40cm, 每盆装土 19kg, 施尿素 4.4g, 二铵 5.1g, 氯化钾 4.8g, 装土前把称好的粉煤灰和肥料与砂姜黑土充分混合, 然后装盆, 随机完全区组排列, 重复 3 次。小麦生长过程中, 依天气情况进

\* 国家“九五”科技攻关项目(96001-0412)和河南省教育厅重点资助项目(98210014)。

\*\* 通讯联系人。

2000-02-18 收稿, 2001-04-16 接受。

行浇水和中耕, 每次浇水 1500ml, 拔节以后每处理均追施 1.5g 尿素, 其它管理同一般高产田。

## 2.2 研究方法

**2.2.1 土壤物理性状** 小麦收获后, 分别取 5~15cm 的土壤, 采用常规方法<sup>[1]</sup>依次测定土壤容重、土壤比重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度和土壤粘粒含量。

**2.2.2 耕层温度** 分别于小麦越冬前期(11/10)、越冬期(12/20)、返青期(2/20)、拔节期(3/20)和灌浆成熟期(5/20)用直管地温计测定 5、10、15 和 20cm 的地温, 每天分 8:00、14:00 和 20:00 3 次观测, 最后求每日的平均值。

**2.2.3 土壤含水量** 分别于小麦越冬期、返青期、抽穗期和收获期取 0~10、10~20 和 20~30cm 的土样, 每处理取 5 点, 用烘干法测定土壤含水量, 并求平均值。

**2.2.4 土壤细菌、真菌和放线菌** 在小麦子粒形成期(4/28)、子粒灌浆盛期(5/11)和成熟收获期(5/28)取小麦根际土壤, 按李阜棣<sup>[8]</sup>的方法, 恒温生长箱培养后对 3 种土壤微生物分别计数。

**2.2.5 重金属 Cd、Cr、Pb、Hg 和 As** 小麦收获考种以后, 根据不同处理分别收获子粒, 同时取 0~25cm 的混合土样, 采用原子吸收方法测定 5 种重金属元素在土壤和小麦子粒中的分布。

## 3 结果与分析

### 3.1 粉煤灰改良砂姜黑土对土壤物理结构的影响

粉煤灰改良砂姜黑土后, 显著改善了土壤的物理结构(表 1)。在 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 各处理间, 随粉煤灰用量的增加, 土壤容重由 1.2g·cm<sup>-3</sup> 下降到 1.15g·cm<sup>-3</sup>; 粘粒含量由 88.9% 降至 83.09%, 总孔隙度由 44.6% 增加到 46.12%, 渗透系数由 0.0825cm·s<sup>-1</sup> 增加到 0.1507cm·s<sup>-1</sup>, 非毛管孔隙度由 7.97% 增至 9.71%; 土壤比重及毛管孔隙也均有不同程度的下降。土壤不同物理性状指标与用灰量多少存在一定的直线关系, 其相关系数均达到显著或极显著水平(表 2)。

### 3.2 粉煤灰改良砂姜黑土对耕层地温的影响

粉煤灰改良砂姜黑土对耕层温度的影响随土层深度和小麦发育时期而不同(表 3)。从不同层次的土壤温度比较可知, 粉煤灰能显著提高 5cm 地温, 其次是 10cm 地温, 对 15cm 以下的地温影响较小; 从对小麦发育时期的影响结果分析, 越冬期前施入粉煤灰能提高土壤温度, 使 5、10 和 15cm 地温增加 0.1~0.4℃; 20cm 地温差异不大; 越冬期, 使 5cm 地温增加 0.1~

表 3 粉煤灰改良砂姜黑土对土壤温度的影响

Table 3 Effect of Shajiang black soil amended by coal fly ash on soil temperature(℃)

处理 Treatment	越冬前 Pre over wintering				越冬期 Over wintering stage				返青期 Turn green stage				拔节期 Elongation stage				灌浆成熟期 Filling and mature stage			
	5cm	10cm	15cm	20cm	5cm	10cm	15cm	20cm	5cm	10cm	15cm	20cm	5cm	10cm	15cm	20cm	5cm	10cm	15cm	20cm
T <sub>0</sub>	11.4	11.9	11.8	12.4	3.8	4.3	4.0	5.0	8.5	10.0	8.0	8.9	17.2	17.6	15.0	14.9	23.0	23.1	22.2	21.3
T <sub>1</sub>	11.5	12.0	11.9	12.3	3.9	4.3	4.2	4.6	8.7	10.1	8.0	8.8	17.3	17.8	14.7	15.0	22.9	23.2	22.0	21.3
T <sub>2</sub>	11.8	12.2	11.9	12.1	4.4	4.5	4.2	4.4	9.0	10.3	8.2	8.4	17.8	17.6	14.9	14.8	22.9	23.2	22.2	20.9
T <sub>3</sub>	11.8	12.2	12.0	12.3	4.5	4.4	4.6	4.6	8.7	9.8	8.1	8.8	17.9	17.6	14.7	14.3	23.1	23.4	21.6	21.3

表 1 粉煤灰改良砂姜黑土对土壤物理性状的影响

Table 1 Effect of Shajiang black soil amended by coal fly ash on soil physical characters

处理 Treatment	容重 Bulk density (g·cm <sup>-3</sup> )	比重 Soil proportion	渗透系数 Filtration coefficient (cm·s <sup>-1</sup> )	总孔隙度 Soil porosity (%)	毛管孔隙度 Capillary porosity (%)	非毛管孔隙度 Non capillary porosity (%)	粘粒 Clay content
T <sub>0</sub>	1.20	2.158	0.0825	44.60	36.63	7.97	88.90
T <sub>1</sub>	1.18	2.103	0.1050	45.62	35.91	9.45	85.50
T <sub>2</sub>	1.15	2.087	0.1378	45.63	36.15	9.48	83.27
T <sub>3</sub>	1.15	2.040	0.1507	46.12	36.10	9.71	83.09

表 2 粉煤灰用量对土壤物理性状的回归方程与相关系数

Table 2 Regression equation and correlation coefficient of the quantity of coal fly ash used and soil physical characters

土壤性状 Soil character	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient
容重 Bulk density	$Y = 1.268 - 0.0038X$	-0.8985**
比重 Soil proportion	$Y = 2.238 - 0.0028X$	-0.8978**
毛管孔隙度 Capillary porosity	$Y = 25.982 + 0.442X$	0.8647**
土壤粘粒 Clay content	$Y = 84.733 - 0.7068X$	-0.9306**
总孔隙度 Soil porosity	$Y = 45.65 + 0.1162X$	0.7502*
渗透系数 Filtration coefficient	$Y = 0.0146 + 0.0033X$	0.9468**

$$R_{0.05} = 0.666, R_{0.01} = 0.798.$$

0.7℃; 10cm 地温增加 0~0.2℃; 15cm 地温增加 0.2~0.4℃; 20cm 地温减少 0.4~0.6℃; 返青后, 使 5cm 地温增加 0.2~0.5℃; 10cm 地温变化异常, 有增有减; 15cm 以下地温变化不大; 拔节后, 使 5cm 地温增加 0.1~0.7℃; 10cm 地温增加 0~0.2℃; 15cm 以下地温多低于 T<sub>0</sub>; 灌浆成熟期, 随气温升高, 粉煤灰处理造成 5cm 地温略有下降, 10cm 地温则略有上升, 15cm 以下地温相对平稳。在小麦不同发育时期的测定中, 各粉煤灰处理对地温的影响顺序为: T<sub>2</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>1</sub>。

### 3.3 粉煤灰改良砂姜土对土壤含水量的影响

对小麦不同生育时期及不同耕层土壤含水量的测定结果表明(表 4), 粉煤灰改良砂姜黑土, 在土壤含水量高时, 施灰处理的含水量均比 T<sub>0</sub> 低, 表现为散湿作用; 在土壤含水量低于 10% 时, 施灰处理的含水量均高于 T<sub>0</sub>, 表现为保墒作用, 在土壤含水量居中时, T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 与对照差异较小。这是由于用粉煤灰改良砂姜土, 改善了土壤的物理性状, 使土壤的固、液、气 3 相比例协调发展。粉煤灰促使砂姜黑土的散湿保墒作用, 有利于改良砂姜黑土的耕性, 提高播种质量, 便于田间管理。

### 3.4 粉煤灰改良砂姜土对根际微生物的影响

表 4 粉煤灰改良砂姜黑土对土壤含水量的影响

Table 4 Effect of Shajiang black soil amended by coal fly ash on soil water content(%)

处理 Treatment	越冬期 Over wintering stage			返青期 Turn green stage			抽穗期 Heading stage			收获期 Harvest stage		
	0~10	20~20	20~30	0~10	20~20	20~30	0~10	20~20	20~30	0~10	20~20	20~30
T <sub>0</sub>	13.4	15.9	17.2	16.2	18.5	18.9	15.6	14.5	13.7	9.1	9.6	10.2
T <sub>1</sub>	10.9	14.4	15.1	12.3	16.3	17.4	15.4	16.1	15.3	9.1	10.2	10.9
T <sub>2</sub>	10.9	14.0	15.3	13.6	15.8	16.4	15.6	14.0	13.9	10.3	11.3	11.0
T <sub>3</sub>	11.4	14.4	15.7	15.2	17.0	16.9	13.7	13.4	13.5	9.6	10.2	10.6

粉煤灰改良砂姜黑土,使小麦根际细菌、真菌和放线菌等土壤微生物数量随小麦不同发育时期而变化(图1).开花期,随粉煤灰用量的增加细菌数增加,真菌数在各处理间表现为T<sub>2</sub>>T<sub>1</sub>>CK>T<sub>3</sub>,对放线菌

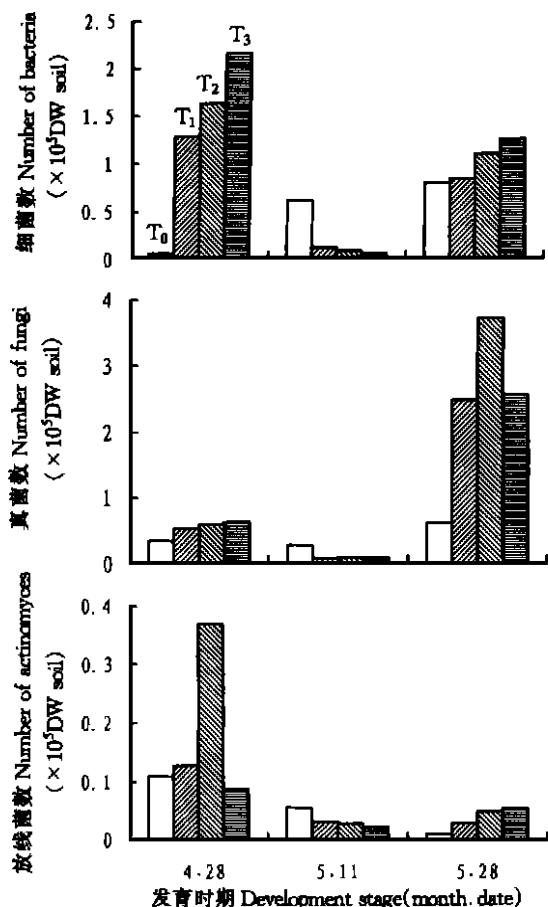


图 1 粉煤灰改良砂姜黑土对土壤细菌、真菌和放线菌的影响

Fig. 1 Effect of Shajiang black soil amended by coal fly ash on the number of soil bacteria, fungi and actinomycetes.

的影响较小;子粒灌浆期,随粉煤灰用量的增加,细菌、

表 5 粉煤灰改良砂姜黑土对土壤重金属元素含量的影响

Table 5 Effect of Shajiang black soil amended by coal fly ash on content of Cd, Cr, Pb, Hg and As in soil

处理 Treatment	Cd		Cr		Pb		Hg		As	
	含量 Content ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	污染指数 Pollution index ( $10^{-3}$ )	含量 Content ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	污染指数 Pollution index ( $10^{-3}$ )	含量 Content ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	污染指数 Pollution index ( $10^{-3}$ )	含量 Content ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	污染指数 Pollution index ( $10^{-3}$ )	含量 Content ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	污染指数 Pollution index ( $10^{-3}$ )
T <sub>0</sub>	0.02	2	0.880	1.760	1.872	1.872	0.0024	0.141	0.127	1.27
T <sub>1</sub>	0.019	1.9	0.888	1.776	1.852	1.852	0.0026	0.153	0.045	0.45
T <sub>2</sub>	0.018	1.8	0.890	1.780	1.819	1.819	0.0032	0.188	0.046	0.46
T <sub>3</sub>	0.017	1.7	0.898	1.796	1.797	1.797	0.0039	0.229	0.038	0.38
粉煤灰 Coal fly ash	0.009	0.9	0.919	1.838	0.243	0.243	0.0049	0.288	0.091	0.91
污染指标 Pollution index	10		500		1000		17		100	

真菌和放线菌均呈减少趋势;小麦收获期,细菌、真菌和放线菌数量均相应增加,不同处理对3种微生物的增加幅度分别为6.4~20.4%、190~440%和287.8~502.9%,即放线菌在成熟收获期的变化最大,细菌最小。可以认为,开花期,粉煤灰施入砂姜黑土改善了土壤的物理性状,提高了地温,利于加速土壤微生物活动;子粒灌浆期,气温升高,根际有机质因前期微生物活动旺盛而减少,微生物数量减少;小麦收获期,枯叶和腐根归还土壤,土壤微生物数量增加。

### 3.5 粉煤灰改良砂姜土对土壤重金属元素含量影响

粉煤灰中既含有对作物有益的微量元素,如B、Mn、Mo、Cu和Zn;也含有对作物有害的Cd、Cr、Pb、Hg和As等重金属元素<sup>[8]</sup>。对土壤中5种重金属元素的测试结果可以看出(表5),所用粉煤灰中5种重金属有害元素的含量均低于国际土壤污染标准值,污染指数为 $0.243 \times 10^{-3} \sim 1.838 \times 10^{-3}$ 。粉煤灰改良砂姜黑土后,土壤中5种元素含量也远低于国际土壤污染标准,说明在本试验条件下,施用粉煤灰改良砂姜黑土不会对土壤造成污染。砂姜黑土中Cr、Hg和As的含量比粉煤灰高,因此,粉煤灰改良砂姜黑土,对上述3种重金属均有稀释效应;而Cr和Hg的含量有增加趋势,土壤污染指数分别为 $1.76 \times 10^{-3} \sim 1.838 \times 10^{-3}$ 和 $0.141 \times 10^{-3} \sim 0.288 \times 10^{-3}$ ,但远小于1,说明不会对土壤产生污染,用粉煤灰改良后的砂姜黑土仍为“清洁级”土壤。

### 3.6 粉煤灰改良砂姜黑土对小麦子粒中重金属元素含量的影响

在砂姜黑土改良中,随着用灰量的增加,Cd和As在小麦子粒中的含量呈增加趋势,Hg呈降低趋势。这

表 6 粉煤灰改良砂姜土对子粒中 5 种重金属元素含量的影响

Table 6 Effect of Shajiang black soil amended by coal fly ash on content of Cd, Cr, Pb, Hg and As in wheat grain

处理 Treatment	Cd		Cr		Pb		Hg		As	
	含量 Content ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	污染指数 Pollution index( $10^{-3}$ )	含量 Content ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	污染指数 Pollution index( $10^{-3}$ )						
T <sub>0</sub>	0.013	0.0325	0.07	0.1394	0.037	0.037	0.0009	0.045	0.0019	0.0027
T <sub>1</sub>	0.023	0.0575	0.083	0.1653	0.026	0.026	0.0004	0.02	0.002	0.0029
T <sub>2</sub>	0.039	0.0975	0.103	0.2052	0.027	0.027	0.0007	0.035	0.003	0.0043
T <sub>3</sub>	0.041	0.1025	0.123	0.2450	0.029	0.029	0.0006	0.03	0.004	0.0057
污染指标 Pollution index	0.4	1	0.502	1	1.00	1	0.020	1	0.7	1

与 3 种元素在土壤中的积累趋势不同; 而 Cr 随灰用量增加在子粒中呈增加趋势, 与在土壤中的积累趋势相一致(表 6)。小麦子粒中重金属元素含量与土壤中含量的关系, 可能与元素在土壤中的状态及作物对其吸收能力有关。尽管施用粉煤灰增加了子粒中 Cd、Cr 和 As 含量, 但与国际污染指标相比仍是极低的, 污染指数最大的为 Cr 元素, 达到 0.245, 其它元素均在 0.1 以下, 说明小麦子粒仍为“清洁水平”。

#### 4 讨 论

砂姜黑土土粒较细, 质地粘重, 底层坚硬, 渗水不良, 物理性差, 地温回升慢, 宜耕期短, 形成了“粘、薄、湿”的生态特点, 不仅对小麦的整地播种极为不利, 而且小麦前期根系发育极差, 地上部分也生长缓慢<sup>[5]</sup>; 粉煤灰改良砂姜黑土后, 有效地改善了土壤的物理性状, 降低了土壤粘粒和土壤容重, 增加了土壤非毛管孔隙度和渗透性系数, 有利于协调土壤中“固、液、气”3 相比例, 提高了 15cm 以上土层的地温, 对于小麦早出苗、早分蘖、形成壮苗有一定的实践意义。另外, 进入小麦灌浆后期, 华北地区常有干热风危害, 而粉煤灰处理又有一定的抑温作用, 可在一定程度上缓解高温危害, 有利于保持后期根系活力, 保根护叶, 延长灌浆时间。粉煤灰改良砂姜黑土还具有散湿保墒作用, 改变了土壤“早上软, 中午硬, 到了晚上犁不动”的水分运动特点, 为增加作物产量提供良好的生态环境。

粉煤灰改良砂姜黑土后, 由于增加了土壤孔隙度和土壤通透性, 提高了地温, 促进好气性微生物的大量繁殖, 表现在微生物数量随施粉煤灰的增加而增加, 另外, 微生物数量的变化还表现出了与小麦发育时期及其土壤养分变化的一致性。龚平等<sup>[4]</sup>认为, 低浓度的重金属对微生物有刺激作用。微生物活性的提高, 反过来促进了养分转化, 使作物根际养分的有效性增加, 为作物生长提供了基础。

粉煤灰中尽管含有 Cd、Cr、As、Hg、Pb 等重金属元素, 但其本身的含量低于国际土壤污染标准, 因而施入粉煤灰后, 虽然增加了土壤中 5 种元素的绝对量, 但对

其影响不大, 土壤仍属于清洁级。小麦子粒中 5 种重金属元素含量也远低于国际污染标准值。因此, 在本试验粉煤灰用量条件下, 使用粉煤灰改良砂姜黑土是安全的, 这与吴家华等<sup>[16]</sup>的研究结果基本一致。

环境问题是当前人们关心的一个重要话题, 不同电厂排放的粉煤灰中, 其重金属含量各有差异, 在使用过程中, 应注意区别使用, 并研究最高使用量; 粉煤灰存放的时间不同, 其对环境产生污染的可能性大小不同, 存放风化时间长的, 一般危害性减弱, 所以在应用粉煤灰过程中, 要把粉煤灰在大气中堆放一定时间; 另外, 在种植作物时, 也可以选择非食用性的作物(如棉花、树木、大麻等), 以减少对生物的危害。

#### 参考文献

- 1 Fan L(范濂), Hu T-J(胡廷积). 1984. Research Methods of Wheat Experiment Zhengzhou: Henan Science and Technology Press. (in Chinese)
- 2 Fai JL. 1987. Growth response of two grasses and a legume on coal fly ash amended strip mine spoils. *Plant and Soil*, **101**(1): 149~ 150
- 3 Ghodratt M, Sims JT. 1995. Evaluation of fly ash as a soil amendment for the Atlantic coastal plain. *Water, Air and Soil Pollution*, **81**(3~4): 349~ 361.
- 4 Gong P(龚平), Sun T-H(孙铁珩), Li P-J(李培军). 1997. Ecological effect of heavy metals on soil microbes. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **8**(2): 218~ 224(in Chinese)
- 5 Hu T-J(胡廷积). 186. Wheat Ecology and its Productive Technology. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press. (in Chinese)
- 6 Jiao Y(焦有), Li G-B(李贵宝), Wu D-K(吴德科) et al. 1997. Effectiveness and environment evaluation of coal fly ash as soil amendment. *Henan Sci(河南科学)*, **15**(4): 470~ 475(in Chinese)
- 7 Khandkar UR, Gangwar MS, Srivastava PC et al. 1996. Effect of coal fly ash application on the elemental composition and yield of some crops and on the properties of a calcareous soil. *Acta Agron Hungarica*, **44**: 141~ 151
- 8 Li F-L(李阜棣). 1996. Experiment Technology of Agro-microbes. Beijing: China Agricultural Press. (in Chinese)
- 9 Lu G-Q(陆长青), Liao H-Q(廖海秋). 1992. Exploration and Management of the Water and Soil Resource in the North Area of Huabei. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 10 Lu S-G(卢升高). 1989. The situation and development of the resource of coal fly ash in agricultural utilization. *Agric Environ Prot(农业环境保护)*, (3): 1~ 3(in Chinese)
- 11 Ma X-M(马新明), Gao E-M(高尔明), Yang Q-H(杨青华) et al. 1998. Study on the relationship between ameliorated of Shajiang black soil amended by coal fly ash and maize growth. *Acta Agric Univ Henanensis(河南农业大学学报)*, **32**(4): 303~ 307(in Chinese)
- 12 Wallace A, Wallace GA. 1986. Enhancement of the effect of coal fly

- ash by a polyacrymide soil conditioner on growth of wheat. *Soil Sci*, 141(5): 387~ 389
- 13 Wan G-Y(万贵怡), Zhou M-L(周茂林), Li L(李玲). 1994. Experiment on the mid low yield field of red soil amended by coal fly ash. *Jiangxi Agric Sci Technol* (江西农业科学), (4): 30~ 34(in Chinese)
- 14 Wei K-X(魏克循). 1995. Henan Soil Geography. Zhengzhou Henan Science and Technology Press. 364~ 395(in Chinese)
- 15 Wu J-H(吴家华), Liu B-S(刘宝山), Dong Y-Z(董云中) et al. 1995. Study on effect of soil amelioration with coal ash. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 32(2): 334~ 340(in Chinese)
- 16 Wu J-H(吴家华), Liu B-S(刘宝山), Dong Y-Z(董云中) et al. 1995. A preliminary assessment of the effect of poisonous elements in coal ash on soils and grains. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 32(2): 194~ 200(in Chinese)
- 17 Wu Y-Y(吴燕玉), Wang X(王新), Liang R-L(梁仁禄) et al. 1997. Ecological effect of compound pollution of heavy metals in soil plant system I. Effect on crop, soil microorganism, alfalfa and tree. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 8(2): 207~ 212(in Chinese)
- 18 Wu Y-Y(吴燕玉), Wang X(王新), Liang R-L(梁仁禄) et al. 1997. Ecological effect of compound pollution of heavy metals in soil plant system II. Effect on element uptake by crops, alfalfa and tree. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 8(5): 545~ 552(in Chinese)
- 19 Yang J-H(杨剑虹), Che F-C(车福才), Wang D-Y(王定勇) et al. 1997. Study on physical and chemical properties of fly ashes and their agrochemical behaviors. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 3(4): 341~ 348(in Chinese)
- 20 Yu G-Y(余国营), Wu Y-Y(吴燕玉), Wang X(王新). 1995. Impact of heavy metal combined pollution on soybean growth and its integrated assessment. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 6(4): 433~ 439(in Chinese)

**作者简介** 马新明,男,1963年生,博士,副教授,主要从事农业生态学和作物模拟模型研究,发表论文35篇,著作4部,成果6项。E-mail: mxmwx@public2.zzz.ha.cn

## 致读者·作者

《应用生态学报》系中国科学院沈阳应用生态研究所和中国生态学会主办的国内外公开发行的学术性期刊,科学出版社出版。国际标准刊号为ISSN1001-9332。专门刊载有关应用生态学(主要包括森林生态学、农业生态学、草地牧业生态学、渔业生态学、自然资源生态学、景观生态学、全球生态学、城市生态学、污染生态学、化学生态学、生态工程学等)的具有创新性的综合性论文、研究报告和研究简报等。

本刊创刊于1990年,现为双月刊,采用国际标准开本(210mm×285mm),160面,每期约36万字。2002年将改为月刊,128面,约28万字。本刊系中国自然科学核心期刊,曾荣获全国优秀科技期刊和中国科学院优秀期刊称号。本刊整体质量和水平已达到相当高度,在国内外应用生态学界的影响日益扩大。《中国科学引文索引》、《中国生物学文摘》、美国《生物学文摘》(BA)、美国《化学文摘》(CA)、英国《生态学文摘》(EA)、日本《科学技术文献速报》(CBST)和俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)等数十种权威检索刊物均收录本刊的论文摘要(中英文)。

据悉,您们正在从事有关生态与环境科学的研究项目(如国家基础科学人才培养基金项目、国家杰出青年科学基金项目、国家自然科学基金重大和重点项目、国家攀登计划项目、国家“863”和“973”计划项目、国家重点科技攻关项目、“百人计划”项目、“长江学者计划”项目和国际合作研究项目等),并有望取得重大研究成果和产生一系列创新论文,本刊编辑同仁热切希望您及您的同行们充分利用这一科学园地,竭诚为您提供优质跟踪服务,本刊将在6~9月内发表您们的创新成果论文(或以特刊、专刊及增刊等形式发表,或以专刊形式发表优秀英文创新论文)。我们相信这一承诺一定能得到您们的积极响应,愿我们迎着新世纪的曙光,为应用生态学的发展协同奋进!

我们的目的:

读者——广泛订阅这一优秀期刊

作者——充分利用这一科学园地

编者——精心编制这一信息精品

《应用生态学报》编辑部