

# 粉煤灰复合土种植小叶锦鸡儿生理功能研究

马成仓<sup>1,2</sup>, 李清芳<sup>2</sup>, 辛天蓉<sup>1</sup>, 张芳<sup>2</sup>, 汪勇<sup>2</sup>, 史辉<sup>2</sup>

(1. 南开大学生命科学院, 天津 300071; 2. 淮北煤炭师范学院生物系, 安徽 淮北 235000)

**摘要:** 将粉煤灰与土壤混合形成复合土, 利用盆栽试验研究了复合土种植小叶锦鸡儿的生长发育和生理功能。研究表明, 含粉煤灰 10% ~ 30% 的复合土能提高小叶锦鸡儿萌发种子中蛋白酶和淀粉酶活性, 加速蛋白质、淀粉的分解, 提高萌发种子的呼吸速率, 为胚的生长发育提供了充足的物质和能量, 使种子萌发速率加快。在苗期生长阶段, 含粉煤灰 10% ~ 30% 的复合土通过提高植株的光合作用, 增强光能利用能力, 加快碳源积累速度; 改善根系活力, 提高根系对营养物质的吸收; 提高硝酸还原酶的活性, 增强氮素的同化能力; 增强植株的保水能力, 提高水分利用效率进而提高植株的生长速率。总之, 粉煤灰通过改善小叶锦鸡儿萌发种子和植株的生理功能而促进小叶锦鸡儿生长。复合土中粉煤灰含量达 40% 时, 小叶锦鸡儿的种子萌发代谢和植株生长代谢被抑制, 生长发育速度降低。研究建议粉煤灰复土造田以 30% 粉煤灰复合土为宜。

**关键词:** 粉煤灰; 复土造田; 小叶锦鸡儿; 植株生长; 生理功能

**中图分类号:** S131.2    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672 - 2043(2004)01 - 0128 - 04

## Physiological Functions of *C. microphylla* Growing in Compound Soils with Coal Fly Ash

MA Cheng-cang<sup>1,2</sup>, LI Qing-fang<sup>2</sup>, XIN Tian-rong<sup>1</sup>, ZHANG Fang<sup>2</sup>, WANG Yong<sup>2</sup>, SHI Hui<sup>2</sup>

(1. College of Life Science, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2. Department of Biology, Huaibei Coal Normal College, Huaibei 235000, China)

**Abstract:** To provide scientific evidences for reclaimed land with coal fly ash and ecological reconstruction in mine subsidence zone, we mixed soils with various amounts of coal fly ash to constitute compound soils and studied the effects of compound soils on growth and physiological functions of *C. microphylla* using pot culture experiments. The results showed that: firstly, during seed germination, the compound soils receiving less than 30% coal fly ash increased the activities of protease, diastase and respiration rate, accelerated the decomposing of protein and starch, thus enough substance and energy were provided for the embryo's growth and development, resulting in seeds germination rate increasing. Secondly, during plants growth, the compound soils receiving less than 30% coal fly ash increased the photosynthesis of plants, activities of roots, nitrate reductase activities of plants and decreased transpiration rate. The increasing of photosynthetic rate and roots activities resulted in increase of light energy utilization, carbon accumulation and nourishment assimilation of roots respectively, while the enhancement of nitrate reductase activity of plants brought about the acceleration of nitrogen assimilation, and the decreasing transpiration rate brought on the increasing of water utilization efficiency and water conservation. So the rate of plants' growth was increased. Our test indicated soils mixed with coal fly ash has improved physiological functions of *C. microphylla* seeds and plants. Our studies demonstrated that the content of coal fly ash in compound soils amounted to 40%, seeds germination and seedlings' growth metabolism of *C. microphylla* were restrained, and rates of plants' growth and development were decreased. Therefore, it is recommended that the compound soils contained about 30% coal fly ash be used in land reclaimed in mine subsidence areas.

**Keywords:** coal fly ash; reclaimed land; *C. microphylla*; vegetative growth; physiological function

据统计全国煤矿开采塌陷土地累计已达 40 万  $\text{hm}^2$  并以塌陷  $0.2 \text{ hm}^2 \cdot \text{万 t}^{-1}$  煤的速度增加, 使我国

人口多耕地少的矛盾日益尖锐。20 世纪 80 年代中期我国开始重视煤矿塌陷区的土地复垦工作, 粉煤灰充填塌陷区作为土地复垦的一条重要途径已取得一些成绩。我国坑口电厂发展很快, 年排粉煤灰 1 亿多 t, 粉煤灰堆弃在自然界中不仅占有大片土地, 而且还随

收稿日期: 2003 - 06 - 04

基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金项目(2001KJ197, 2002KJ250)

作者简介: 马成仓(1963—), 男, 陕西澄城人, 教授, 从事环境生物学研究。E-mail: machengcang@eyou.com

风飞扬、污染环境。利用粉煤灰充填塌陷区复垦土地、可以消除塌陷区以及粉煤灰堆弃造成的环境危害,为电厂、煤矿、农民带来经济效益和生态效益。若坑口电厂粉煤灰全部用于充填塌陷区,可复垦土地  $400 \sim 500 \text{ hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 。关于利用粉煤灰充填塌陷区复土造田的方法各国已做了不少工作,也取得了一些经验。粉煤灰复土造田一般主要作为林业和景观用地,这是因为粉煤灰中往往含有较高的有害元素,如氟、重金属等,不宜种植农作物。小叶锦鸡儿(*C. microphylla*)以其强抗逆性而著称<sup>[1]</sup>,是防风固沙<sup>[2,3]</sup>,保持水土,改良土壤的良好植物,同时,具有饲用、绿肥、薪炭、蜜源、入药等资源价值。本文尝试用土壤-粉煤灰复合土种植小叶锦鸡儿,研究其生理功能,为采用土壤-粉煤灰复合土填充塌陷区,进行生态恢复提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

试验选用土壤为褐土类(Cinnamon soil),淋溶褐土(Luvic cinnamon soil);土壤质地为壤土。土壤 pH6.92,有机质  $7.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全氮  $1.51 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效磷  $7.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾  $140 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。粉煤灰来自淮北发电厂。粉煤灰 pH9.5,全氮  $0.02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效磷  $1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,钾  $26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。将粉煤灰与土壤混合,制成含粉煤灰 10%,20%,30%和 40%的土壤-粉煤灰复合土,以不含粉煤灰土壤作对照。小叶锦鸡儿(*C. microphylla*)种子采自内蒙古锡林浩特盟。

### 1.2 发芽试验

将饱满均一的小叶锦鸡儿种子用  $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{HgCl}_2$  浸泡消毒 10 min,用自来水冲洗数次,播种于盛有不同土壤-粉煤灰复合土和对照土壤的塑料盘中,每盘 100 粒,每处理种 4 盘,置光照培养箱中  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  培养,每日加入少量自来水。待胚根长出  $1 \sim 2 \text{ cm}$  时(18 d~20 d)测定萌发种子呼吸速率、淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶活性,第 30 d 计算发芽率,测量幼苗长度。

### 1.3 盆栽试验

试验在通风、光照良好的室外进行,选用直径 40 cm 的瓷花盆,每盆栽土 9.5 kg,每个土壤-粉煤灰复合土和对照土壤重复 4 盆,共计 20 盆。选取饱满均一的小叶锦鸡儿种子,用  $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $\text{HgCl}_2$  溶液浸泡 10 min,蒸馏水冲洗后 3 月 15 日播种,每盆 50 粒,覆盖地膜,4 月 20 日去掉地膜,间苗,每盆保留 10 株,视土壤含水量不定时浇灌自来水,6 月 5 日测定光合

速率和蒸腾速率、6 月 15 日自来水淋洗法取完整植株,测定地上部高度、根长、硝酸还原酶活性和根系活力。

### 1.4 测定方法

呼吸强度测定采用小篮子法<sup>[4]</sup>。脂肪酶活性测定采用碱滴定法<sup>[4]</sup>,酶单位定义为该系统下,每滴定 1 mL  $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaOH 为一个酶单位。淀粉酶活性测定采用 3,5-二硝基水杨酸还原法<sup>[5]</sup>,反应时间为 10 min;蛋白酶活性测定采用 Folin 酚法<sup>[5]</sup>,反应时间为 22 h,用 7220 分光光度计测定 500 nm(淀粉酶)或 680 nm(蛋白酶)光密度值,酶活力单位定义为在上述各系统下,光密度变化 0.100 为一个酶单位。硝酸还原酶活性测定采用磺胺比色法<sup>[4]</sup>。根系活力测定采用 TTC 法<sup>[6]</sup>。光合强度、蒸腾强度采用美国 CID 公司的 CI-301PS 便携式光合作用测定仪直接测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 小叶锦鸡儿的种子萌发率和幼苗生长状况

表 1 粉煤灰复合土种植小叶锦鸡儿种子发芽率和幼苗生长状况

项目	粉煤灰含量/%				
	0	10	20	30	40
发芽率/%	86	86	83	89	71*
30 d 幼苗长度/cm	3.1	3.4	3.6*	3.7*	2.8*
90 d 植株地上部高度/cm	6.6	7.5*	8.1*	9.5*	5.8*
90 d 根长/cm	30.5	34.9*	36.1*	37.5*	30.3

注: \* 表示与对照差异显著,  $\alpha = 0.05$ 。

由表 1 可知,含 10%,20%,30% 粉煤灰的复合土对小叶锦鸡儿种子萌发率无显著影响,含 40% 粉煤灰的复合土种子萌发率低于对照。含 10%,20%,30% 粉煤灰的复合土种植小叶锦鸡儿种子萌发速率高于对照,且表现为随粉煤灰含量的增加而升高;含 40% 粉煤灰的复合土种植小叶锦鸡儿种子萌发速率低于对照。植株生长阶段,复合土粉煤灰含量低于 30%,随粉煤灰含量的增加,小叶锦鸡儿植株生长速度加快;含 40% 粉煤灰的复合土种植小叶锦鸡儿生长速度低于对照。说明 30% 以下的粉煤灰对小叶锦鸡儿种子萌发和植株生长有促进作用,粉煤灰含量达 40% 时对小叶锦鸡儿种子萌发和植株生长有抑制作用。

### 2.2 小叶锦鸡儿萌发种子的呼吸速率、淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶活性

表2 粉煤灰复合土种植小叶锦鸡儿萌发种子的呼吸速率、淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶活性

Table 2 The respiration rate and activities of diastase, lipase and protease of *C. microphylla* germination seed in compound soils receiving coal fly ash

项目	粉煤灰含量/%				
	0	10	20	30	40
呼吸速率/ $\text{mg CO}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$	1.3	1.32	1.45*	1.56*	1.22*
淀粉酶/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}\text{DW}$	244	289*	332*	389*	208*
蛋白酶/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}\text{DW}$	5.46	6.25*	6.89*	6.94*	5.06*
脂肪酶/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}\text{DW}$	9.05	9.25	9.18	9.46	8.70

注: \* 表示与对照差异显著,  $\alpha = 0.05$ 。

由表2可知,复合土粉煤灰含量对小叶锦鸡儿的萌发种子呼吸速率有较大影响。复合土粉煤灰含量低于30%,随着粉煤灰含量的增加,呼吸速率提高。可见复合土粉煤灰在一定含量范围内能促进细胞产能代谢,增强植物的生命活力,为植物的生理活动提供充足的能量,有利于植物生长。复合土粉煤灰含量对小叶锦鸡儿的萌发种子脂肪酶无显著影响,对蛋白酶、淀粉酶活性有很大影响。复合土粉煤灰含量低于30%,随着粉煤灰含量的增加,萌发种子蛋白酶、淀粉酶活性显著升高,这有利于蛋白质、淀粉的分解,为幼苗生长提供能量和物质基础,有利于幼苗生长。复合土粉煤灰含量达到40%,萌发种子蛋白酶、淀粉酶活性降低。酶活性和呼吸速率的变化导致了萌发速率变化。

### 2.3 小叶锦鸡儿的光合作用

粉煤灰复合土对小叶锦鸡儿光合日进程影响不大,对照和不同粉煤灰复合土都表现出双峰曲线,不同之处是粉煤灰复合土种植的小叶锦鸡儿第1峰比对照出现早,午前光合速率高(图1)。从日净同化积累值来看,10%、20%和30%粉煤灰复合土对小叶锦鸡儿光合作用有促进效应(表3)。当粉煤灰含量达40%时,小叶锦鸡儿光合速率显著降低。

### 2.4 小叶锦鸡儿植株的硝酸还原酶(NR)活性

硝酸还原酶(NR)活力的高低直接影响到土壤中

表3 粉煤灰复合土种植小叶锦鸡儿植株的日净同化积累值

Table 3 The Cumulative value of diurnal photosynthesis of *C. microphylla* in compound soils receiving coal fly ash

项目	粉煤灰含量/%				
	0	10	20	30	40
日净同化积累值/ $\text{mmol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}$	701.68	783.22*	809.64*	724.00	646.52*

注: \* 表示与对照差异显著,  $\alpha = 0.05$ 。

无机氮的利用率。表4表明,含10%、20%、30%粉煤灰复合土提高小叶锦鸡儿植株的硝酸还原酶活性,即植株利用N素的能力逐渐增强;40%粉煤灰复合土显著降低植株硝酸还原酶活性。说明粉煤灰对小叶锦鸡儿植株的氮素利用有一定影响。

### 2.5 小叶锦鸡儿植株的根系活力

表4 粉煤灰复合土种植小叶锦鸡儿植株根系活力和硝酸还原酶(NR)活性

Table 4 The roots activities and nitrate reductase activities of *C. microphylla* in compound soils receiving coal fly ash

项目	粉煤灰含量/%				
	0	10	20	30	40
根系活力/ $\text{gTTC} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$	0.721	0.772*	0.871*	0.873*	0.534*
叶NR活性/ $\mu\text{gNO}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$	40	83*	79*	61*	24*
根NR活性/ $\mu\text{gNO}_2 \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$	119	189*	157*	146*	71*

注: \* 表示与对照差异显著,  $\alpha = 0.05$ 。

根系是植物吸收水分和矿质营养的器官,其活性影响植物的生长发育。表4表明,含10%、20%、30%粉煤灰复合土显著提高小叶锦鸡儿植株根系活力,40%粉煤灰复合土种植的小叶锦鸡儿根系活力显著低于对照。说明粉煤灰影响小叶锦鸡儿根系的功能,影响根系对营养物质的吸收利用。

### 2.6 小叶锦鸡儿植株的水分代谢

粉煤灰复合土对小叶锦鸡儿蒸腾日进程无显著影响(图2);10%~30%粉煤灰复合土降低小叶锦鸡

图1 粉煤灰复合土种植小叶锦鸡儿植株的光合日进程

Figure 1 The diurnal changes of net assimilation rate of *C. microphylla* in compound soils receiving coal fly ash

图2 粉煤灰复合土种植小叶锦鸡儿植株的蒸腾日进程

Figure 2 The diurnal changes of transpiration rate of *C. microphylla* in compound soils receiving coal fly ash

儿日蒸腾积累值,提高小叶锦鸡儿的水分利用效率,表明粉煤灰提高了小叶锦鸡儿植株的保水能力。粉煤灰含量达 40% 时,日蒸腾积累值稍高于对照,水分利用效率低于对照(表 2)。

表 5 粉煤灰复合土种植小叶锦鸡儿植株的水分代谢

Table 5 The water metabolism of *C. microphylla* in compound soils receiving coal fly ash

项目	粉煤灰含量/%				
	0	10	20	30	40
日蒸腾积累值 /molH <sub>2</sub> O · m <sup>-2</sup>	718.02	550.62*	633.42*	672.59*	732.71
水分利用效率 /mmolCO <sub>2</sub> · mol <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O	0.98	1.42*	1.28*	1.08*	0.88*

注:表示与对照差异显著,a = 0.05。

### 3 讨论

许多研究表明<sup>[7-9]</sup>,粉煤灰能促进植物生长,提高植物生物量。本研究发现,供试土壤中加入不高于 30% 的粉煤灰能促进小叶锦鸡儿生长。一般认为,粉煤灰促进植物生长,提高植物生物量的原因是粉煤灰能改良土壤<sup>[10,11]</sup>、增加土壤的微量元素<sup>[12,13]</sup>。本研究表明,粉煤灰通过提高萌发种子中蛋白酶和脂肪酶活性,加速蛋白质、脂肪的分解,提高萌发种子的呼吸速率,为胚的生长发育提供充足的物质和能量,使种子萌发速率加快。在苗期生长阶段,粉煤灰通过提高植株的光合作用,增强光能利用能力,加快碳源积累速度;改善根系活力,提高根系对营养物质的吸收;提高硝酸还原酶活性,提高氮素的同化能力;增强植株的保水能力,提高水分利用效率,因而提高植株生长速率。总之,粉煤灰通过改善小叶锦鸡儿的生理功能而促进小叶锦鸡儿生长,这些可能是粉煤灰使作物增产的重要原因。

本研究建议,粉煤灰复土造田中,粉煤灰用量上

限为 30%,30% 以下的粉煤灰不仅不会抑制植物生长,而且有促进生长的效应。粉煤灰用量达到 40% 时,植物生长会受到抑制。

### 参考文献:

- [1] Xu XY, Zhang RD, Xue XZ, Zhao M. Determination of evapotranspiration in the desert area using lysimeters[J]. *Communications in Soil Science and Plant analysis*, 1998, 29(1-2): 1-13.
- [2] Ren J, Tao L, Liu XM. Effect of different microhabitats and stand age on survival of introduced sand-fixing plants[J]. *Journal of Arid Environments*, 2002, 51(3): 413-421.
- [3] Hansson AC, Aifen Z, Andren O. Fine-root production and mortality in degraded vegetation in horqin sandy rangeland in Inner-mongolia[J]. *China Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1995, 9(1): 1-13.
- [4] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,1990. 45,65,133,160,236.
- [5] 北京师范大学生物系生化教研室. 基础生物化学实验[M]. 北京:人民教育出版社,1982. 142,162.
- [6] 山东农学院,西北农学院. 植物生理学实验指导[M]. 济南:山东科技出版社,1985. 197(in Chinese).
- [7] 马新明,高尔明,杨青华,等. 粉煤灰改良砂姜黑土与玉米生长关系的研究[J]. 河南农业大学学报,1998,32(4):303-307.
- [8] 马新明,郑 谨,董莲心,等. 粉煤灰改良砂姜黑土对小麦生长发育的影响[J]. 河南农业大学学报,2001,35(2):103-106.
- [9] 马新明,王小纯,丁 军,等. 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[J]. 应用生态学报,2001,12(4):610-614.
- [10] Fai J L. Growth response of two grasses and a legume on coal fly ash amended strip mine spoils[J]. *Plant and Soil*, 1987, 101(1): 149-150.
- [11] Ghodrati M, Sims J T. Evaluation of fly ash as a soil amendment for the Atlantic coastal plain[J]. *Water air and Soil Pollution*, 1995, 81(3-4): 349-361.
- [12] 吴家华,董云中,刘宝山,等. 粉煤灰有害元素对土壤、粮食影响的初步评价[J]. 土壤学报,1995,32(2):194-201.
- [13] 吴家华,刘宝山,董云中,等. 粉煤灰改土效应研究[J]. 土壤学报,1995,32(3):334-340.