

文章编号: 1000-5692(2004)02-0159-05

# 竹炭对土壤性质和高羊茅生长的影响

傅秋华<sup>1</sup>, 张文标<sup>2</sup>, 钟泰林<sup>3</sup>, 张 宏<sup>2</sup>, 蒋文伟<sup>3</sup>

(1. 浙江省遂昌县林业局, 浙江 遂昌 323300; 2. 浙江林学院 工程学院, 浙江 临安 311300

3. 浙江林学院 园林与艺术学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 竹炭是一种多孔性含有多种无机物比表面积大的新型材料。高羊茅 *Fescue arundinacea* 是一种适应江南地区绿化种植的冷季型草坪草。运用不同质量不同粒径的竹炭施洒于高羊茅草坪表层土壤中进行试验, 结果表明: 施过竹炭颗粒的土壤, 其理化性能得到了改良, 水解氮、有效磷、速效钾、交换性钙和镁等元素含量均明显提高, 而有效锌和铜等金属含量则相对降低; 竹炭对高羊茅的发根、发叶及生长也有不同程度的促进作用。施炭量  $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 炭粒直径小于 3mm 的竹炭对土壤改良效果和高羊茅的长势和根、茎、叶增长量最佳。表 4 参 8

**关键词:** 竹炭; 高羊茅; 土壤改良; 生长特性

**中图分类号:** S688.4      **文献标识码:** A

竹炭是竹材经热解得到的黑色多孔性产物, 是近年来才开发利用的一种新型材料。它的灰分含量为 2.0%~4.0%, 比表面积  $200 \sim 400 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , pH 为 8.0~10.0, 气干密度  $0.500 \sim 1.120 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ , 主要成分为硅、钙、锰、钠、钾等的氧化物<sup>[1,2]</sup>。它不腐烂, 多孔以及比表面积较大的特性, 使其对空气中的氮、二氧化碳和水蒸气有一定吸附性, 起到固氮、保水、保肥、调整土壤酸碱平衡作用, 同时黑色的竹炭能较好地吸收太阳光照, 提高地表温度, 减轻寒冷对植物的冻害。目前, 国内外对竹炭这个新兴产业的研究大致处于商业先行而科学滞后的状况, 而在农林实际应用上的研究更是一个薄弱的领域<sup>[3~5]</sup>。高羊茅 *Fescue arundinacea* 是近年来江南地区引种和重点推广的冷季型四季常绿草坪草, 因其适应性、耐寒性和耐旱性较强, 常用于庭院、居住区和公园等的绿化。江浙地区炎热的盛夏和寒冷的冬季, 使得高羊茅草坪也会出现一些发黄和枯萎等症状。土壤中有效铜和锌的量对高羊茅的生长有一定影响<sup>[3~5]</sup>。以不同量竹炭(浓度)洒播于高羊茅草坪表层土壤中, 测定土壤的理化性能变化和高羊茅草种生根、发叶数量和茎叶长度等生长状况以及抗病虫、抗干旱、抗寒冷等特性, 研究竹炭对高羊茅草生长产生的影响, 以及适宜高羊茅生长的竹炭品系和用量, 这在理论上和生产上均有现实意义。

## 1 试验地概况

试验地位于浙江省遂昌县文照竹炭有限公司厂区内, 气候属中亚热带季风类型, 温暖湿润, 四季分明, 山地垂直气候差异明显。年平均气温为  $16.8 \text{ }^\circ\text{C}$ , 最热月(7月)平均气温  $27.7 \text{ }^\circ\text{C}$ , 最冷月(1月)平均气温  $5.3 \text{ }^\circ\text{C}$ , 年平均降水量  $1510 \text{ mm}$ , 年日照  $1755 \text{ h}$ 。此气候类型基本能适应高羊茅草的正常生长。

收稿日期: 2003-11-21; 修回日期: 2004-03-30

基金项目: 国家星火计划项目(2003EA700027); 浙江省科学技术厅资助项目(021102021)

作者简介: 傅秋华(1964-), 男, 浙江遂昌人, 高级工程师, 从事竹林培育和竹产品生产研究。E-mail: SCFQH@263.net

## 2 试验时间、材料与方

### 2.1 试验时间

试验时间: 2001年10月至2003年6月。在晚秋或早春进行播种, 重复3次。

### 2.2 试验工具与材料

火焰光度计、分光光度计、原子吸收光谱、酸度计、环刀和游标卡尺。竹炭来自浙江省遂昌县文照竹炭有限公司。高羊茅品系中猎狗5号(Houndog 5)种子, 简称高羊茅草籽, 来自浙江省虹越花卉有限公司, 产于美国。清水沙和黄土。

### 2.3 试验方法

2.3.1 播种方法 按照冷季型草坪(籽播草坪)建植的要求和方法处理基质和播种, 事先做好基础, 安排给排水系统(有些需安装照明设施)。表层土壤深70~100 mm, 于试验前7 d进行深翻, 施用敌百虫、多菌灵和太阳曝晒相结合的方法杀菌消毒。此时, 把不同量竹炭分别洒于各处理组中并用铁耙耙均匀, 以备播种。

2.3.2 测定方法 pH:  $m_{水} : m_{土} = 5 : 1$  浸提, 酸度计法; 容重: 环刀法; 水解氮: 扩散法(碱解法); 速效钾: 醋酸铵浸提, 火焰光度计法; 速效磷: 盐酸氟化铵浸提, 分光光度计法; 交换性钙、镁: 醋酸铵浸提, 原子吸收光度法; 其他微量元素:  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HCl}$  浸提, 原子吸收光度法; 植株长势, 叶片颜色、质地, 病虫, 枯萎状况采用目测法。

2.3.3 数据处理分析方法 此后每隔一定时间(15 d, 25 d, 45 d)观察1次, 选取每组长势相当的20株小苗, 分别观测其根的数量、茎叶的长度和数量, 用双因素(I不同处理方式, II不同炭颗粒量)完全随机有重复试验区组方差分析法和SSR检验Duncan's新复极差测验的多重比较方法, 分析各组植株的根、茎、叶生长情况, 从而得到最适宜高羊茅生长的竹炭品系和用量。

2.3.4 用量 每组高羊茅种籽用量为  $30.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ; 竹炭分2个品系①细粒竹炭: 粒径小于1 mm; ②粗粒竹炭: 粒径大于1 mm且小于3 mm。各组为  $\text{II}_1$ :  $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $\text{II}_2$ :  $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $\text{II}_3$ :  $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ (表1)。

2.3.5 管理措施 除非特别干旱和病虫较严重, 平常一般不浇水, 不除病虫和补施肥料, 以比较竹炭对高羊茅草生长的抗性和肥力的影响。

表1 试验方案设计

Table 1 Design scheme of the test

竹炭品系	处理 I <sub>1</sub> / ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )			处理 I <sub>2</sub> / ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )			处理 I <sub>3</sub> / ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )			d <sub>k</sub>
	施炭 100	施炭 200	施炭 300	施炭 100	施炭 200	施炭 300	施炭 100	施炭 200	施炭 300	
炭粒 < 1 mm	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	G
		A			B			C		
1 mm < 炭粒 < 3 mm	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2	F3	G
		D			E			F		

## 3 结果分析

### 3.1 加入竹炭后土壤的理化性能

由表2可知, 不同配比竹炭粉对土壤的作用程度各异。土壤中水解氮、有效磷、速效钾、交换性钙和有效态铁、锰、铜、锌, 交换性镁的含量是植物良好生长的重要因子。从实验结果可看出, 随着竹炭量的增加, 其pH值升高并接近于7, 相应的营养元素含量发生变化。速效钾、交换性钙增量最多, 其次是有效态铁、水解氮、有效磷, 但增量相对较小。其中速效钾在B3(代号说明见表1)和C3均达到最大值, 交换性钙以A2, 有效态铁以B3, 水解氮以C2, 有效磷以D2和F2分别达最大值; 且速效钾、有效态铁的量随着竹炭用量的增加显著增加, 而水解氮、有效磷、交换性钙的量则随着竹炭用量的增加较少。重金属中, 有效态锰增量最多, 其次是交换性镁; 有效态锌、铜虽增加但增量较

少, 以有效态铜增量最小。其中有效态锰以 C3 为最大且低于对照, 交换性镁、有效态锌和铜变化幅度小, 且有效态锌和铜 2 种金属含量均低于对照组。水解氮、有效磷、速效钾、交换性钙、有效态铁的增量, 以施炭  $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  最多, 低于或高于此标准营养元素含量均偏低; 有效态锰、有效态铜和锌、交换性镁则随着施炭量的增加而增加。因此, 在施用竹炭时可根据不同植物及植物所处的不同生长期, 合理选择竹炭的用量, 以达到最佳效果。原因是由于竹炭为竹材热解产物, 呈弱碱性, 并含有丰富的无机化合物, 而使有些元素含量升高; 但施于土壤中一段时间后, 又与多种物质化合, 从而导致一些元素含量增量变化不明显。土壤的容重变化幅度小, 与对照组相接近, 是由于其气干密度与土壤接近。

表 2 竹炭处理过的土壤理化特性方差分析

Table 2 Variance analysis of physico-chemical properties of soil by bamboo charcoal being treated

理化特性	均值	平均偏差	极差	方差	标准差	标准误	变异系数
pH 值	6.079 0	0.285 0	1.40	0.135 0	0.368 0	0.084 0	0.060 0
容重/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	1.078 4	0.039 4	0.22	0.002 9	0.053 5	0.012 3	0.049 6
水解氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	19.700 0	3.231 6	16.70	19.492 0	4.415 0	1.012 9	0.224 1
有效磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	19.153 0	3.850 4	17.20	23.328 0	4.829 9	1.108 1	0.252 2
速效钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	48.710 0	11.810 0	57.00	26.570 0	16.300 0	3.740 0	0.335 0
交换性钙/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	87.871 0	4.378 8	22.65	34.249 0	5.852 3	1.342 6	0.066 6
有效态铁/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	38.954 0	2.148 2	9.47	7.528 5	2.7438	0.629 5	0.070 4
有效态锰/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	19.243 0	2.009 9	9.45	6.564 5	2.562 1	0.587 8	0.133 2
有效态铜/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	0.102 1	0.069 1	0.24	0.006 1	0.078 1	0.017 9	0.764 6
有效态锌/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	4.641 1	0.696 7	3.55	0.951 0	0.975 2	0.223 7	0.210 1
交换性镁/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	6.643 2	0.335 0	2.22	0.269 1	0.518 7	0.119 0	0.078 1

### 3.2 高羊茅生长情况

3.2.1 根生长情况 15 d 时, 对高羊茅根系观测得知, 根数均为 1, 与对照无显著差异。方差分析 ( $F_I > F_{0.01}, F_{II} < F_{0.05}$ ), 表明, 因素 I 差异较显著, 因素 II 之间差异不显著。45 d 时达极显著水平, 45 d 的根生长情况运用 SSR 检验 Duncan's 新复极差测验的多重比较 ( $P < 0.01$ ), 其优劣依次表现为 C, B, A, D, E, F, G。表明不同炭颗粒量和处理方式对高羊茅初期的发根影响不大, 但  $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  的炭量仍略优于其他; 施炭粉前期 (25 d) 施粗炭颗粒的根系生长较多, 是因其比细炭颗粒更疏松; 但随着时间延长 (45 d), 细炭颗粒与土壤充分化合, 这时把养分充分供给植株生长, 而表现植株根系生长多, 而后养分消耗较多而逐渐趋于平衡。不同处理方式, 总体以  $I_2$  为佳, 并以  $D2$  对草种生长较好。

3.2.2 最长茎叶长度情况 25 d 高羊茅最长茎叶长度方差分析表明:  $F_I > F_{0.01}, F_{II} > F_{0.05}$ , 说明因素 I 在整个生长过程中极为显著, 因素 II 在 25 d 前后表现显著。对显著的组用 SSR 检验 Duncan's 新复极差测验进行多重比较, 结果表明 (表 3), 15 d 优劣为 D, B, F, E, A, C, G; 25 d 为 E, D, A, B, C, F, G; 45 d 为 C, F, B, D, E, A, G。上述表明, 25 d 前  $I_1, I_2$  方式较好, 之后则  $I_3$  为好。原因是  $I_1, I_2$  沙性基质, 在初期, 竹炭的弱碱性和众多无机元素能较快地与土壤化合, 生成易被植株生长所吸收的化合物, 促进植株生长。随着植株根的往下深入, 表层基质影响逐渐减小;  $I_3$  土壤粘性较大, 结实, 与炭颗粒化合较慢, 植株开始因得不到充足的养分而生长缓慢, 但随着时间延长, 炭颗粒与土壤充分化合, 土壤更加疏松, 营养缓缓释放供给植株生长, 而表现茎叶长度更佳。粗粒竹炭 ( $1 \text{ mm} < \text{炭粒直径} < 3 \text{ mm}$ ) 对茎叶生长效果优于细粒的 (炭粒直径  $< 1 \text{ mm}$ ), 原因是, 粗粒竹炭比细粒竹炭更不易被雨水冲走, 更易被吸附在植株周围, 能较长时间提供植株营养成分。覆盖黄土与细沙混合物对种子生长影响不大, 但初期出苗整齐均一, 并可增加种籽湿度, 减少浇水次数。因素 II 对茎叶生长影响不显著, 以  $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  略为优, 表明炭颗粒量不是影响植株茎叶生长的主要因子。因此, 施炭时并非越多越好, 应根据植物的种类和植株大小适时适量。

3.2.3 高羊茅茎叶数量变化 25 d 前茎叶数量差异不明显, 而后逐步变化。对 25 d 和 45 d 进行方差

分析 ( $F_{I} > F_{0.01}$ ,  $F_{II} < F_{0.05}$ ), 结果因素 I 均达到显著水平, 说明不同处理方式对草种茎叶生长影响很大; 因素 II 无明显变化, 表明炭颗粒用量对草种茎叶数量影响不显著。对 45 d 茎叶数量运用 SSR 检验 Duncan's 新复极差测验的多重比较 (表 4), 优劣依次为 D, A, F, B, E, C, G。表明  $I_1$  和  $I_2$  方式适合于高羊茅茎叶生长, 并以  $I_1$  最佳,  $I_2$ ,  $I_3$  效果相当,  $ck$  效果最差。粗炭颗粒效果总体优于细粒的。炭颗粒用量仍以  $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  略为佳。

3.2.4 高羊茅叶色比较与病虫观测 叶色与病虫害采用目测法: 施过竹炭的高羊茅草, 其植株叶片颜色比未施过的浓绿, 有光泽, 且以  $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  处理的叶片颜色分布均匀, 质感较好。植株的茎叶, 在试验期间均未发现病虫害; 而未施过的, 炭颗粒量低于或高于  $200.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  叶片颜色和质感均较差, 并偶有小白点、病斑或虫卵。对一块被蜗牛吃过的草坪进行观测, 施过竹炭的其复原时间比未施的缩短了 7~10 d。在盛夏高温期, 施过竹炭的草坪绿期 (不枯萎时间) 延长了 5~7 d。原因是, 由于试验用的竹炭呈碱性, 能中和土壤的酸性, 更适合植株的生长, 且竹炭含有丰富的无机元素, 因而具有增进叶片活力, 提高叶片厚度, 增强植株抵抗力, 抑制有害病菌, 增进有益微生物繁殖的效果。竹炭的多孔性使其在水肥充足时把一些水肥吸附贮藏起来, 而一旦气候干燥、水分养分供给不足它又释放出水肥供植株生长, 并能把空气中的氮和二氧化碳等气体吸附到根附近, 通过根系的一系列化学反应, 转化为能被吸收的营养物质 (固氮作用), 从而起到增强植株抗高温和抗干旱能力, 延长植物生长期。

## 4 结论

竹炭能提高土壤的 pH 值, 丰富土壤的氮、磷、钾、钙、镁等元素, 降低锌、铜等重金属含量, 改善土壤的孔隙度和容重, 延长植物的生长期, 增强植株抗高温、抗干旱能力。不同处理方式, 对草种的发根、发叶及茎叶长度变化影响显著; 不同炭颗粒量对草种生长变化不明显,  $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  的竹炭用量对高羊茅草生长有较明显促进作用。播种后, 草种表面覆盖一层 3~5 cm 厚的黄心土和细沙混合物对草种生长影响不大, 但可使出苗整齐, 减少浇水次数, 不同颗粒大小的竹炭施洒于高羊茅草坪表土层土壤中, 以炭粒直径大于 1 mm 且小于 3 mm 的土壤改良效果较好, 但考虑加工的成本和可持续利用 (细粒竹炭可利用竹材加工剩余物热解, 既节约资源又可废物利用, 有效降低成本), 一般作物用炭可选用粒径小于 2~3 mm 即可。但若为开花、观果植物, 则仍需对其生长和元素成分变化作进一步研究。

## 参考文献:

[1] 张文标, 王伟龙, 赵丽华, 等. 机制炭理化性能的研究[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(2): 215-218.

表 3 高羊茅最长茎叶长度 Duncan's 新复极差测试结果

Table 3 The results of SSR and Duncan's in the longest stem of *Fesuca arundinacea*

因素	处理	15 d	25 d	45 d
I	A	1 783 3 <sup>BC</sup>	4 158 3 <sup>BC</sup>	6 693 3 <sup>DE</sup>
	B	1 951 7 <sup>B</sup>	3 921 7 <sup>CD</sup>	9 290 0 <sup>AB</sup>
	C	1 596 7 <sup>C</sup>	3 848 3 <sup>CD</sup>	10 610 0 <sup>A</sup>
	D	2 433 3 <sup>A</sup>	4 466 7 <sup>B</sup>	8 390 0 <sup>BC</sup>
	E	1 980 0 <sup>B</sup>	4 978 3 <sup>A</sup>	7 496 7 <sup>CD</sup>
	F	1 926 7 <sup>B</sup>	3 780 0 <sup>CD</sup>	9 830 0 <sup>AB</sup>
	G		3 515 0 <sup>D</sup>	5 640 0 <sup>E</sup>
II	II <sub>1</sub>	1 779 2 <sup>B</sup>		7 701 4 <sup>A</sup>
	II <sub>2</sub>	2 238 3 <sup>A</sup>		9 064 3 <sup>B</sup>
	II <sub>3</sub>	1 818 3 <sup>B</sup>		8 070 0 <sup>B</sup>

说明: 同一列具不同字母肩注的数值间表示差异显著 ( $F < F_{0.01}$ )

表 4 高羊茅平均茎叶数 Duncan's 新复极差测试结果

Table 3 The results of SSR and Duncan's in the average number of leaves of *Fesuca arundinacea*

因素	处理	25 d	45 d
I	A	1 200 0 <sup>AB</sup>	5 333 3 <sup>AB</sup>
	B	1 033 3 <sup>B</sup>	4 533 3 <sup>B</sup>
	C	1 33 3 <sup>AB</sup>	4 266 7 <sup>B</sup>
	D	1 200 0 <sup>AB</sup>	5 933 3 <sup>A</sup>
	E	1 233 3 <sup>A</sup>	4 433 3 <sup>B</sup>
	F	1 066 7 <sup>AB</sup>	4 566 7 <sup>B</sup>
	G	0 800 0 <sup>C</sup>	3 100 0 <sup>C</sup>
II	II <sub>1</sub>		4 342 9 <sup>A</sup>
	II <sub>2</sub>		4 914 3 <sup>A</sup>
	II <sub>3</sub>		4 528 6 <sup>A</sup>

说明: 同一列具不同字母肩注的数值间表示差异显著 ( $F < F_{0.01}$ )

- [2] 张文标. 竹炭·竹酢液的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2002.
- [3] 张齐生. 我国竹材加工利用要重视科学和创新[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(1): 1-4.
- [4] 池嶋庸元. 竹炭·竹酢液のつくり方と使い方[M]. 東京: 農山魚村協会, 1999. 1-80.
- [5] 杉浦銀治. 炭焼革命—まちづくりと地球環境浄化のために[M]. 東京: (株) 牧野出版, 1992. 8-96.
- [6] 马进, 张万荣, 王小德, 等. 杭州地区冷季型草坪引种适应性[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(1): 54-57.
- [7] 马进, 胡广才, 梁立军. 江南冷季型草坪建植与养护技术要点[J]. 草原与草坪, 2001, (2): 49-51.
- [8] 赵树兰, 多立安.  $\text{Cu}^{2+}$  与  $\text{Zn}^{2+}$  递进胁迫下高羊茅的初期生长效应及生长阈限研究[J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1098-1105.

## Bamboo charcoal's effect on the soil characteristics and *Fescue arundinacea* growth

FU Qiu-hua<sup>1</sup>, ZHANG Wen-biao<sup>2</sup>, ZHONG Tai-lin<sup>3</sup>, ZHANG Hong<sup>2</sup>, JIANG Wen-wei<sup>3</sup>

(1. Forest Enterprise of Shuichang County, Shuichang 323300, Zhejiang, China; 2. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. School of Landscape Architecture and Art, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

*Abstract:* Bamboo charcoal is kind of porous quality, containing many kinds of inorganic compounds, new materials of relatively big specific area. *Fescue arundinacea* is that one kind adapts to the south area in China and afforests the type lawn of cold season that plants. Bamboo charcoal to be constructed and shed in *F. arundinacea* lawn top layer soil by utilize different quantity different particle size. The result showed: Having constructed the soil of the bamboo charcoal, its physics and chemistry performance had obviously improved contents of element, such as N, P, K, Ca, Mg, etc., and Zn, Cu, heavy metal content reduced. *F. arundinacea* taking root, taking leaf and grow had influenced in varying degrees. And the way a crop was growing, root, stem of *F. arundinacea* had also the best by constructing  $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  of charcoal quantity, charcoal soil improvement of bamboo that a diameter was smaller than 3 mm of charcoal. [Ch, 4 tab. 8 ref.]

*Key words:* bamboo charcoal; *Fescue arundinacea*; soil improvement; growth characteristics