

DOI: 10.5846/stxb201212071760

林兴生, 林占熿, 林冬梅, 林辉, 罗海凌, 胡应平, 林春梅, 朱朝枝. 荒坡地种植巨菌草对土壤微生物群落功能多样性及土壤肥力的影响. 生态学报, 2014, 34(15): 4304-4312.

Lin X S, Lin Z X, Lin D M, Lin H, Luo H L, Hu Y P, Lin C M, Zhu C Z. Effects of planting *Pennisetum* sp. (Giant juncao) on soil microbial functional diversity and fertility in the barren hillside. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(15): 4304-4312.

荒坡地种植巨菌草对土壤微生物群落 功能多样性及土壤肥力的影响

林兴生^{1,2}, 林占熿^{1,2,*}, 林冬梅^{1,2}, 林 辉^{1,2}, 罗海凌^{1,2},
胡应平^{1,2}, 林春梅¹², 朱朝枝³

(1. 福建农林大学菌草研究所, 福州 350002; 2. 国家菌草工程技术研究中心, 福州 350002;

3. 福建农林大学金山学院, 福州 350002)

摘要: 研究种植于荒坡地、不同生长年限(1、2、3、5a)的巨菌草对土壤微生物群落功能多样性及肥力的影响。结果表明, 不同生长年限巨菌草土壤微生物对不同碳源的利用随培养时间延长而增大, 培养 72—96 h 变化最明显, 培养 144 h 后各土壤 AWCD 值均达到最大值。总体上 AWCD 值大小依次为: 2 年生 > 3 年生 > 1 年生 > 5 年生 > CK, 不同生长年限的巨菌草土壤 AWCD 值均比对照高, 且差异显著, 2 年生 AWCD 值最高, 其次为 3 年生, 1 年生、5 年生巨菌草土壤 AWCD 值差异不显著。对培养 96 h 土壤微生物利用碳源特性进行主成分分析, 31 个碳源中提取的与土壤微生物碳源利用相关的主成分 8 个, 其中主成分 1 至主成分 8 分别能够解释变量方差的 25.39%、18.89%、11.28%、9.31%、6.84%、5.60%、5.26%、4.71%, 合计解释变量方差的 87.27%; 主成分 1、主成分 2 能够区分不同生长年限巨菌草土壤的微生物群落特征, 2 年生、3 年生巨菌草土壤微生物功能多样性与 CK 相比, 差异显著; 与主成分 1 显著相关的碳源主要是糖类、氨基酸、羧酸和多聚物, 与主成分 2 显著相关的碳源主要是氨基酸。不同生长年限的巨菌草的 Shannon (*H*)、均匀度、Brillouin 指数均高于 CK, 且差异显著, 2 年生与 3 年生差异不显著, 1 年生与 5 年生差异不显著。总体上不同生长年限巨菌草的土壤的 pH 值、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾的含量比对照高, 其中 3 年生巨菌草的土壤有机质含量比对照高 98.20%, 5 年生巨菌草土壤的碱解氮含量比对照高 93.2%; 除 1 年生巨菌草外, 有机质、碱解氮含量均与对照差异显著。在荒坡地种植巨菌草, 可增加土壤微生物群落功能多样性, 在一定程度上提高土壤肥力, 荒坡地种植巨菌草能产生一定的生态正效应。

关键词: 巨菌草; 土壤微生物群落; 功能多样性; 土壤肥力

Effects of planting *Pennisetum* sp. (Giant juncao) on soil microbial functional diversity and fertility in the barren hillside

LIN Xingsheng^{1,2}, LIN Zhanxi^{1,2,*}, LIN Dongmei^{1,2}, LIN Hui^{1,2}, LUO Hailing^{1,2}, HU Yingping^{1,2}, LIN Chunmei^{1,2}, ZHU Chaozhi³

1 Juncao Research Institute, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

2 National Engineering Research Center of Juncao, Fuzhou 350002, China

3 Jinshan College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

Abstract: Introduced from Africa by Fujian Agriculture and Forestry University in 2005, the Giant Juncao (*Pennisetum* sp.) had the features of tall, erect, forested with the high annual output of 200—400 t/hm². The crude protein content of

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项 (201004019); 国家菌草工程技术研究中心组建项目 (2011FU125X11); 福建省科技重大项目 (2012NZ0002)

收稿日期: 2012-12-07; 网络出版日期: 2014-03-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wittylin@163.com

the Giant Juncao was 10.8% after growth for 4 weeks, indicating the advantage of developed root system, strong stress resistance and quick growth variety. The Giant Juncao may be used to produce mushroom, fungi forage and forage additives successfully. Now, the Giant Juncao is used to control soil erosion and improve the soil properties. This paper studied the effects of the Giant Juncao on the soil microbial community functional diversity and fertility with different growth years (1, 2, 3 and 5 years) planted in the barren hillside. The results indicated that the utilization of carbon sources by soil microbes increased when culture time prolonged. The most obvious change happened in the culture time of 72—96 h. AWCD (Average Well Color Development) value reached the maximum in the culture time of 144 h. Generally, the order of AWCD value was 2 years > 3 years > 1 year > 5 years > CK. The values of AWCD of the Giant Juncao with different growth year was significantly higher than CK. AWCD was highest when the growth year of the Giant Juncao was 2 years, follow by 3 years. The difference of AWCD between 1 and 5 years was not significant. The principal component in the utilization of carbon source by soil microbes in the growth time of 96 h was analyzed. The results showed that the 8 principal components extracted from 31 carbon source were related to soil microbial carbon source utilization, the 1—8 principal components account for 25.39%, 18.89%, 11.28%, 9.31%, 6.84%, 5.60%, 5.26%, 5.60% of variables variance respectively, and account for 87.27% of the total variables variance. The principal component 1 and 2 could be used to distinguish the characteristics of soil microbial community with different growth years of Giant Juncao. The diversity of soil microbial community of the 2 and 3 years' Giant Juncao was significantly different with CK. The Shannon (H), Evenness and Brillouin indexes of soil microbial community with different growth time of Giant Juncao were significantly higher than CK. The Shannon (H), Evenness and Brillouin indexes of soil microbial community planted with Giant Juncao between 2 and 3 years, 1 and 5 years had no significant differences. Generally, pH value, organic matter, alkali solution nitrogen, effective phosphorus and rapidly-available potassium contents of soil planted with Giant Juncao were higher than CK. The content of organic matter of soil planted with 3 years old Giant Juncao was higher than CK by 98.20%. The content of alkaline hydrolysis nitrogen of soil planted with 5 years old Giant Juncao was higher than CK by 93.2%. The organic matter and alkali solution content of soil planted with 2, 3 and 5 years old Giant Juncao were significantly different to CK. The Giant Juncao planted in barren hillside could enhance soil microbial community functional diversity and improve soil fertility to a certain extent. Planting Giant Juncao in the Barren Hillside had certain positive ecological effect.

Key Words: giant juncao (*Pennisetum* sp.); soil microbial community; functional diversity; soil fertility

1986 年,福建农林大学发明了“以草代木”栽培食、药用菌技术,经过 20 多年的研究和拓展,该技术已发展形成菌草优良品种选育,菌草栽培与加工,菌草生物转化(菌草栽培食、药用菌)及菌草综合利用(包括菌草菌物饲料、菌草生物质材料、生物质能开发,菌草生态治理等)的系列技术与工艺,称为菌草技术。菌草是指可作为食用菌、药用菌培养基并有综合开发利用价值的草本植物。菌草技术具有太阳能利用率高、资源利用率高、投资少、周期短、见效快等优点,利用菌草技术发展菌草业,既能增加农民收入,脱贫致富,又能改善生态环境,把社会、经济、生态三大效益有机结合起来。菌草技术已传播到 87 个国家,已在我国 31 个省、市的 386 个县(市)应用^[1-3]。

福建农林大学已筛选出 45 种菌草,其中巨菌草(*Pennisetum* sp.)是在 2005—2007 年,福建农林大学菌草研究所与南非夸祖鲁奈塔尔省开展菌草技术合作期间,从南非引进的一种草,因当地生长时植株特别高大,故暂定名巨菌草,隶属禾本科狼尾草属,多年生,适宜在热带、亚热带、温带生长和人工栽培。经初步试验,它与国内其他狼尾草存在一定区别,目前正在申报新品种认定。巨菌草属典型的 C_4 植物,太阳能转化率是阔叶树的 4—7.46 倍,年产鲜草达 200—400 t/hm²,粗蛋白含量高(种植 4 周达 10.8%),其植株高大直立、丛生,一般为 3—5 m,测得最高 7.08 m,根系发达,抗逆性强。巨菌草具有适应性强、利用期长、生物量高、营养价值和适口性好等特点,其用途广泛,既可作为优质的食、药用菌生

产原料(代替木屑栽培,不仅生物学效率高,而且品质好),又可作为饲料(发展养殖,如养牛、羊、鹿、鹅、鱼),还可利用其代煤发电,生产沼气及治理水土流失等,是一种具有较大种植潜力和社会经济生态效益的草种^[4]。

土壤微生物的生理功能多样性和群落功能多样性与地上植物生长有密切关系,一方面植物通过改变土壤微生物群落特征影响土壤环境^[5],另一方面土壤微生物在土壤有机质分解和生态系统养分循环的过程中发挥着关键作用,影响植被的发育与演替^[6]。不同的植物对土壤微生物群落的影响不同^[7],土壤微生物群落功能多样性反映了土壤微生物群落的生态特征,相关研究集中于施肥、农药、耕作方式及不同群落对土壤生物群落功能多样性的影响^[8-10],也有关于转基因棉、化感水稻对土壤生物群落功能多样性的报道^[11],有研究表明稻草还田^[12]、不同腐熟程度有机物料^[13]、玉米免耕秸秆覆盖^[14]、毛竹凋落物都会对土壤微生物群落功能多样性产生影响。此外,汪仲琼等^[15]比较了人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性;韩玉竹等^[16]研究了象草根际微生物的种类、数量和时空分布动态;曾艳等^[17]综述了互花米草对土壤生态系统的影响。关于草与土壤肥力方面,前人研究了紫花苜蓿、百喜草、红豆草、生草、稗草、多年生禾草对土壤肥力的影响,认为果园生草具有保持水土,优化果园生态环境,提高土壤肥力等优点^[18-21]。目前尚未见关于巨菌草对土壤微生物群落功能多样性及肥力影响的报道,本文研究了在荒坡地种植巨菌草对土壤微生物群落功能多样性及土壤肥力的影响,旨在为荒坡地发展巨菌草提供科学依据,以期在开发利用巨菌草时,能形成社会、经济、生态三大效益共赢。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点在福建省闽清县丰达生态农业大观园菌草示范基地,地理坐标为 25°55′—26°33′N, 118°30′—119°01′E,年降水量 1400—1900 mm,年均气温 19.7℃,境内年平均地面温度为 21—23℃,最高值平均为 37.3℃,最低值平均为 15.3℃,极端高温曾达 40℃,极端低温-7℃。福建闽清丰达生态农业大观园原为荒山荒坡地,后逐步开发为生态农业园,

2006 年该基地通过福建太阳草生物技术有限公司从福建农林大学引进巨菌草并在荒坡地种植,采用扦插法,将巨菌草茎秆截成段,每段 2 节,株行距为 60 cm×80 cm。此后该基地每年均种植巨菌草,用于园内的水土保持、食用菌种植、牛羊鱼饲养和旅游观光等。

1.2 样地设置与样品采集

在福建闽清丰达生态农业大观园菌草示范基地,土壤分别取自种植于荒坡生长年限不同(1、2、3、5a)的巨菌草草地和未种植巨菌草的对照地,分别选择 3 块具有代表性的草地,每块草地面积为 1 m×1 m,先除去地表的凋落物层,然后采用 5 点梅花法取样,垂直钻取 0—20 cm 的土壤,充分混匀,除去植物残体、根系、石块等杂物,用无菌自封袋封装。将土样分为 2 组:一组土样置于 4℃ 的冰箱,用于测定土壤微生物群落功能多样性,另一组土样风干后用于测定土壤养分。

1.3 研究方法

1.3.1 Biolog-Eco 分析

采用 31 种碳源的生态板(Biolog-Eco)分析微生物群落的代谢特征,生态板有 96 个孔,3 份重复,每份重复有 32 孔(包括 31 个单一碳源孔和 1 个对照孔)。称取 10 g 鲜土(称量前测量含水量),加入 90 ml 无菌生理盐水中稀释,用摇床振荡 30 min,静止沉淀 3—5 min,然后进行 100 倍稀释,以每孔 150 μL 稀释液加入微孔板中,将制备好的菌悬液倒入无菌移液槽中,使用八孔移液器将其接种于微平板的 96 孔中。接种好的微平板放到铺有 6 层纱布的塑料盒中,为防止微平板鉴定孔中的菌悬液挥发,纱布保持一定的湿度,塑料盒用保鲜膜包裹,保鲜膜上用注射针头扎若干个小眼,以保证微生物的培养所需要的氧气,Eco 生态板置于 30℃ 恒温箱避光培养,分别于培养 24、48、72、96、120、144 h 时用 ELISA 反应微平板读数器在 590 nm 处读取吸光值。

1.3.2 颜色平均变化率测定

土壤微生物群落 ELSIA 反应采用 Biolog-Eco 平板每孔平均颜色变化率(Average Well Color Development, AWCD)表示

$$AWCD = \sum (C - R) / n$$

式中, C 为所测定的碳源孔的吸光值, R 为对照孔的吸光值, n 为培养基碳源种类数(本研究为 31)。

1.3.3 土壤微生物群落功能多样性指数计算

以培养 96 h 土壤微生物利用单一碳源的 AWCD 情况,参照植物生态学中的方法^[8]计算:

$$\text{Shannon 指数 } H' = - \sum_{i=1}^s n_i \ln n_i$$

$$\text{Simpson 指数 } J = 1 - \sum_{i=1}^s [n_i(n_i - 1) / N(N - 1)]$$

Brillouin 指数

$$H = (1/N) \ln [N! / (n_1! n_2! n_3! \cdots)]$$

$$\text{McIntosh 指数 } D_{MC} = (N - \sqrt{\sum_{i=1}^s n_i}) / (N - \sqrt{N})$$

Shannon 均匀度 $E = H' / \ln S$

$$\text{McIntosh 均匀度指数 } E = (N - D_{MC}) / N - N / \sqrt{S}$$

式中, S 为颜色变化孔的数目; n_i 为第 i 孔的相对吸光值, N 为吸光值总和。

1.3.4 土壤理化性质分析

有机质采用 K_2CrO_7 容量法测定,速效钾采用 NH_4OAc 浸提-火焰光度法测定,有效磷采用钼锑抗比色法测定,碱解氮采用碱解扩散法测定。

1.4 数据统计分析

数据统计、主成分分析采用 SPSS16.0 软件,主成分作图用 Canodraw 软件。

2 结果与分析

2.1 不同生长年限的巨菌草土壤微生物功能多样性的 Biolog 分析

2.1.1 碳源平均颜色变化率(AWCD)随时间变化

随培养时间延长,土壤微生物对不同碳源的利用程度增大,培养 72—96 h 变化最明显,培养 144 h 后各土壤 AWCD 值均达到最大值。不同生长年限巨菌草土壤微生物对多聚物、氨基酸代谢的 AWCD 值大小依次为:2 年生>3 年生>1 年生>5 年生>CK,最高的是 2 年生,培养 144 h 多聚物、氨基酸代谢的 AWCD 分别是 CK 的 1.98 倍、1.75 倍;对羧酸、酚酸代谢的 AWCD 值大小依次为:2 年生>1 年生>5 年生>3 年生>CK,最高的是 2 年生,培养 144 h 羧酸、酚酸代谢的 AWCD 分别是 CK 的 1.68 倍、2.00 倍;对糖类代谢的 AWCD 值大小依次为:3 年生>2 年生>5 年生>1 年生>CK,最高的是 3 年生,培养 144 h 的 AWCD 是 CK 的 2.18 倍;对胺类代谢的 AWCD 值大小依次为:3 年生>2 年生>1 年生>5 年生>CK,最高的是 3 年生,培养 144 h 的 AWCD 是 CK 的 2.96

倍。综合看不同生长年限的巨菌草土壤 AWCD 值大小依次为:2 年生>3 年生>1 年生>5 年生>CK,不同生长年限的巨菌草土壤 AWCD 值均比对照高,且差异显著,2 年生 AWCD 值最高,其次为 3 年生,1 年生、5 年生巨菌草土壤 AWCD 值差异不显著(图 1)。

2.1.2 不同生长年限巨菌草土壤微生物利用碳源主成分分析

根据培养 96 h 土壤微生物利用单一碳源的 AWCD 值,对不同土壤微生物利用单一碳源特性进行主成分分析,结果表明,从 31 个碳源中提取的与土壤微生物碳源利用相关的主成分 8 个,其中主成分 1 至主成分 8 分别能够解释变量方差的 25.39%、18.89%、11.28%、9.31%、6.84%、5.60%、5.26%、4.71%,合计解释变量方差的 87.27%。CK 全部分布于主成分 1、2 的负端,除了 5 年生巨菌草外,1 年生、2 年生巨菌草主要分别于主成分 1 的负端和主成分 2 的正端,3 年生巨菌草主要分布于主成分 1 的正端和主成分 3 的负端,均与 CK 差异显著($p < 0.05$),主成分 1、主成分 2 能够区分不同生长年限巨菌草土壤的微生物群落特征,2 年生、3 年生巨菌草土壤微生物功能多样性与 CK 相比,发生了显著的变化(图 2)。对主成分的得分系数与单一碳源 AWCD 进行相关分析表明,与主成分 1 显著相关的碳源主要是糖类(D-木糖 D-xylose、 β -甲基-D-葡萄糖 β -Methyl-D-glucose、葡萄糖-1-磷酸 Glucose-1-Phosphate),氨基酸(L-精氨酸 L-Arginine、谷氨酰-L-谷氨酸 Glycyl-L-Glutamic acid),羧酸(D-苹果酸 D-Malic acid)和多聚物(D-甘露醇 D-Mannitol),与主成分 2 显著相关的碳源主要是氨基酸(L-丝氨酸 L-serine)。

2.1.3 不同生长年限巨菌草土壤微生物利用培养基的多样性指数^[13]

土壤微生物群落利用碳源类型的多与少可以用各种的多样性指数表示。从表 1 可看出,McIntosh 指数不能区分不同生长年限巨菌草土壤微生物群落利用碳源类型的多与少差异,Simpson 指数不能区分不同生长年限巨菌草土壤微生物群落利用碳源类型的差异,Shannon (H)、均匀度、Brillouin 均能在一定程度上反映不同生长年限巨菌草土壤的利用碳源类型差异,不同生长年限的巨菌草在 Shannon (H)、均匀度、Brillouin 指数均高于 CK,且差异显著($P < 0.05$),2 年生与 3 年生差异不显著,1 年生与 5 年生

差异不显著。

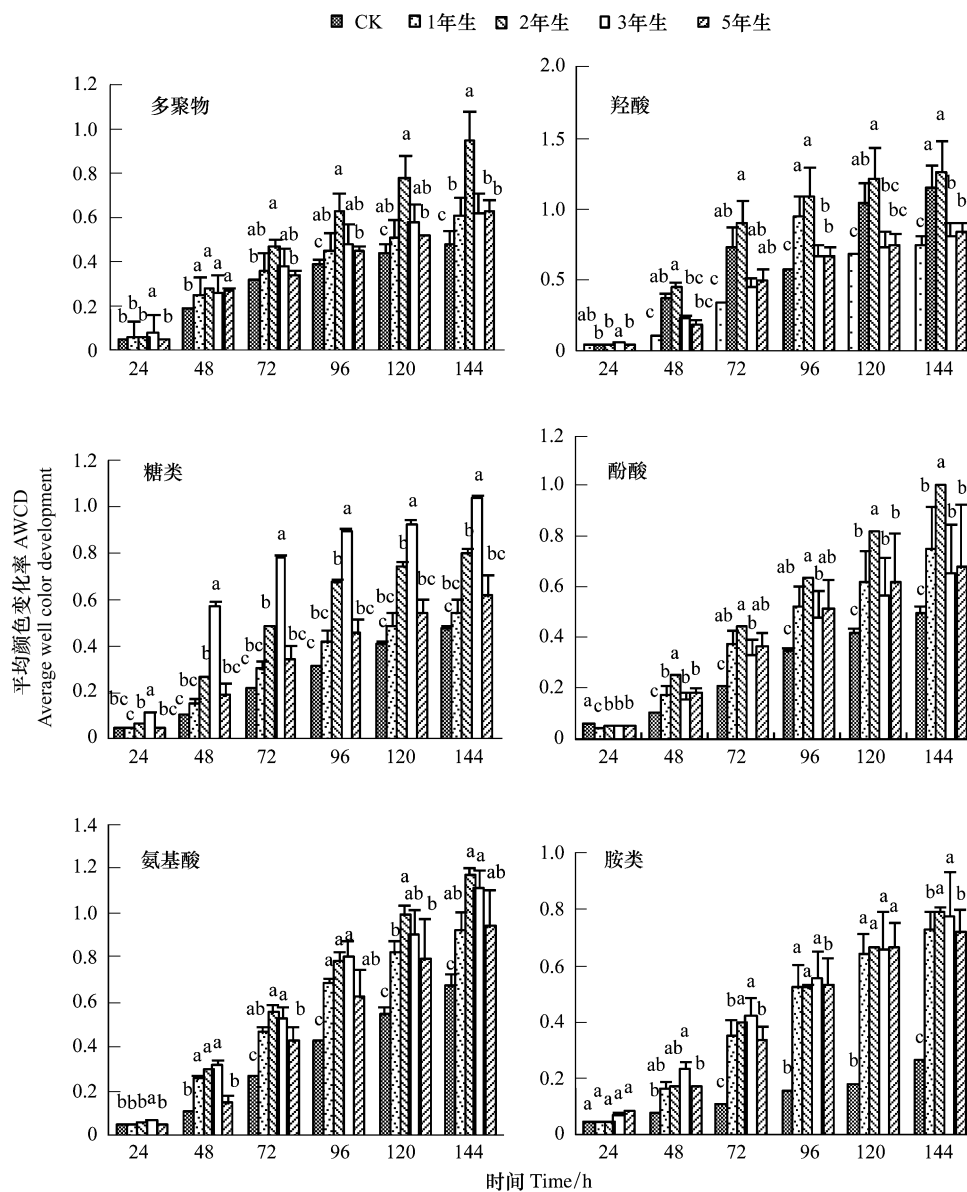


图1 不同生长年限巨菌草土壤微生物碳源平均颜色变化率 (AWCD)

Fig.1 AWCD of carbon sources of soil microbes of Giant Juncao with different growth years

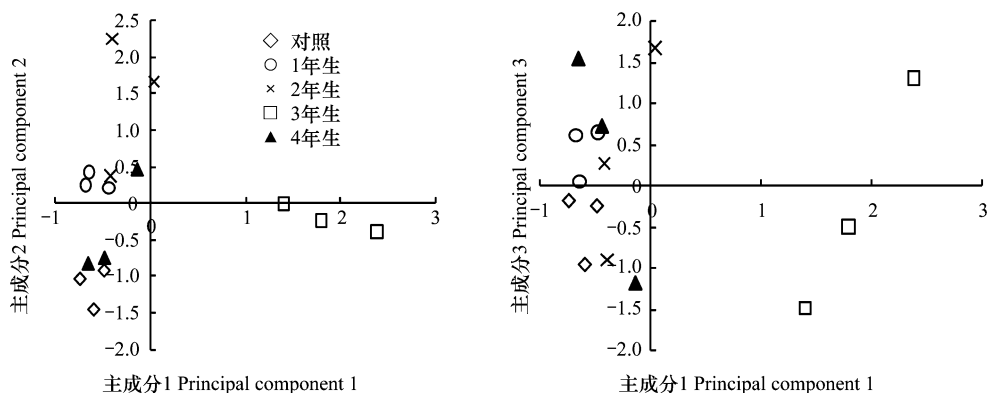


图2 不同生长年限巨菌草土壤微生物利用碳源主成分

Fig.2 The principal component of carbon source utilization of soil microbes of Giant Juncao with different growth years

表 1 不同生长年限的巨菌草土壤微生物利用培养基多样性指数

Table 1 Diversity index of the culture medium utilization of soil microbes of Giant Juncao with different growth years					
生长年限 Growth years	辛普森 Simpson(<i>J</i>)	香农 Shannon(<i>H</i>)	均匀度 Evenness	布里渊 Brillouin	麦金塔 McIntosh(<i>D</i> _{MC})
对照 CK	0.9781±0.0103 a	4.2733±0.0615 c	0.8626±0.0124 c	2.6708±0.0916 c	0.9819±0.0022 a
1 年生 1-year	0.9992±0.0015 a	4.3699±0.0597 b	0.8942±0.0121 b	3.061±0.1726 b	0.9979±0.0048 a
2 年生 2-year	0.9937±0.001 a	4.5701±0.104 a	0.9225±0.021 a	3.2807±0.0836 a	1.0434±0.024 a
3 年生 3-year	0.9941±0.0028 a	4.4589±0.0065 ab	0.9 ±0.0013 ab	3.168±0.0428 ab	0.9842±0.0074 a
5 年生 5-year	1.0061±0.0008 a	4.3445±0.0439 b	0.8969±0.0089 b	2.8668±0.034 b	1.0153±0.0021 a

同列不同小写字母表示差异显著 (*P*<0. 05)

2.2 巨菌草不同生长年限对土壤肥力的影响

除 3 年生巨菌草的速效钾含量外,不同生长年限巨菌草的土壤的 pH 值及有机质、碱解氮、有效磷、速效钾的含量总体上均比未种植菌草的土壤(CK)高,其中 3 年生巨菌草的土壤有机质最高,比对照高 98.20%除 1 年生巨菌草外,与对照比均差异显著;5 年生巨菌草土壤的碱解氮为 160.40 mg/kg,比对照

高 93.2%,除 1 年生巨菌草外,与对照比均差异显著;1 年生、5 年生巨菌草土壤的有效磷含量与对照差异显著,2 年生、3 年生巨菌草土壤的有效磷含量与对照差异不显著;不同生长年限巨菌草土壤的速效钾与对照差异不显著。结果表明,种植巨菌草能在一定程度上提高土壤肥力(表 2)。

表 2 不同生长年限巨菌草的土壤肥力测定

Table 2 Soil fertility determination of Giant Juncao with different growth years					
生长年限 Growth years	土壤 pH Soil pH	有机质/% Organic matter	碱解氮/(mg/kg) Alkali solution nitrogen	有效磷/(mg/kg) Effective phosphorus	速效钾/(mg/kg) Rapidly-available potassium
对照 CK	4.46±0.08 b	1.69±0.64 b	83.00±18.23 c	7.00±4.50 b	115.27±97.57 a
1 年生 1-year	4.61±0.32 b	2.14±0.13 b	91.30±8.30 bc	19.80±2.00 a	123.30±16.10 a
2 年生 2-year	4.86±0.47 b	3.14±0.17 a	158.50±11.10 a	11.30±1.20 b	145.60±45.83 a
3 年生 3-year	6.82±0.18 a	3.35±0.15 a	108.70±8.10 b	8.19±0.16 b	104.20±5.50 a
5 年生 5-year	4.61±0.28 b	3.12±0.22 a	160.40±7.50 a	18.10±2.10 a	128.00±12.50 a

3 讨论与结论

3.1 不同生长年限巨菌草对土壤微生物群落多功能性的影响

互花米草、大米草是外来入侵物种,福建农林大学通过菌草生物转化技术,已可将其用于栽培食、药用菌,可化害为利,互花米草、大米草和巨菌草均是可利用的菌草。左平等认为互花米草和大米草在保滩护岸、促淤造陆、改良土壤等方面产生生态正效应,从此种意义上讲,大米草和互花米草是优秀的植物种质资源^[22]。目前关于巨菌草的相关研究鲜有报道,为此,笔者以互花米草等草类的相关研究作比较。

清华等^[23]、周虹霞等^[24]研究认为,互花米草的高生物量和高生产力为土壤微生物提供丰富的碳源,与光滩相比,互花米草所在的土壤中有更多微生物

物赖以生长的碳源种类,其生长的土壤中的微生物量也相应较高。Batten 等^[25]报道互花米草地上部分群落密度大,极大影响地下微生物群落;王蒙^[26]报道互花米草的生长会使裸滩土壤微生物增加;Ravit 等^[27]研究表明互花米草发达的根系对土壤微生物群落结构有显著影响。巨菌草同样具有高的生物量和发达的根系,本研究也表明与未种植巨菌草的荒坡比,在荒坡上种植巨菌草后会显著改变土壤微生物群落功能的多样性。

Biolog 技术,是以微孔板碳源利用为基础的定量分析方法,为研究微生物群落功能多样性提供了一种更简单、更快速的方法,已广泛应用于评价土壤微生物群落的功能多样性。土壤微生物利用碳源的能力和代谢活性的大小可通过 AWCD 反映出来,其值越高,土壤中微生物群落代谢活性也就越高^[28]。孟庆杰等^[29]研究了草地、农田和裸地等 3 个的生态

系统土壤微生物功能多样性的动态变化,结果表明,土壤微生物平均颜色变化率(AWCD)和 Shannon 多样性指数均表现为草地最高,农田次之,裸地最低。本研究结果得出在荒坡上种植巨菌草比相同土壤条件未种植巨菌草的荒坡土壤微生物 AWCD 高。但时鹏等^[9]研究显示长期耕作加大了对土壤的扰动,破坏土壤结构,未干扰的撂荒土壤微生物碳源利用活性高土壤微生物多样性指数显著高于其他耕作处理。

利用主成分分析,可以比较不同处理间土壤微生物碳源利用的差异^[9]。本研究发现,主成分 1、主成分 2 解释了大部分的变异,CK 全部分布于主成分 1、2 的负端,除了 5 年生巨菌草外,1 年生、2 年生巨菌草主要分别于主成分 1 的负端和主成分 2 的正端,3 年生巨菌草主要分布于主成分 1 的正端和主成分 3 的负端,均与 CK 差异显著($P < 0.05$),2 年生、3 年生巨菌草土壤微生物功能多样性与 CK 相比,发生了明显的变化,不同生长年限的巨菌草草地土壤微生物的碳源利用能力均与对照差异显著,种植巨菌草对土壤微生物产生较大影响。

3.2 不同生长年限巨菌草对土壤肥力的影响

本研究结果显示,在荒坡地种植巨菌草,随生长年限增加,土壤有机质含量呈先升后降趋势,但均比同一土壤条件未种植巨菌草的荒坡高,这与生草、花互米草的相关研究结果基本一致。孙霞等^[19]报道生草能提高 0—60 cm 土层有机质含量,种植禾本科牧草有机质年积累 0.11%,豆科牧草年积累 0.15%,随着生草年限的增加较深土层土壤有机质也趋于增加。在崇明滩的调查研究发现,互花米草群落的氮库比本地群落海三棱藨草和芦苇高^[30];江苏沿海互花米草入侵碱蓬带的研究显示,互花米草入侵 8—14 a,其土壤有机碳比本地植物碱蓬生长的土壤升高 27.0%—69.6%^[31]。荒坡上种植巨菌草能提高土壤有机质,可能是由于巨菌草根系发达,能改善土壤颗粒结构,此外巨菌草落叶等植物残体,增加了土壤腐殖质,在微生物作用下形成矿质营养逐渐向土壤淋析,补充了土壤营养,这类似于作物残体还田的作用,作物残体可培肥土壤、保持及提高土壤有机质含量。研究表明,作物残体施入土壤后,显著影响土壤有机质组成^[7],可提高土壤孔隙度,降低容重,改善土壤通透性和保水保肥性能,增强土壤缓冲性。

Hooker 等^[32]研究发现,玉米秸秆还田,显著增加了常规耕作土壤中有有机碳的含量。现有研究表明,互花米草入侵光滩和草本植物滩涂,使得土壤全磷含量升高。王红丽等^[33]报道互花米草入侵崇明东滩潮滩芦苇湿地,芦苇、米草共生区土壤全磷含量(0.7 g/kg)大于芦苇湿地(0.3 g/kg),互花米草入侵红树林湿地,土壤全磷含量升高。孙霞等^[19]报道生草对 N、P、K 营养的影响主要表现在 0—40 cm 土层,生草能提高 0—40 cm 土层水解 N、速效 P 及速效 K 含量。本研究也得出了相似的结果,在荒坡地种植巨菌草在一定程度上能提高土壤碱解氮、有效磷、速效钾的含量。

3.3 结论

生长年限为 2、3a 的巨菌草土壤微生物群落功能多样性及土壤有机质含量最高,表明在荒坡上种植巨菌草 2—3a,可以显著增加荒坡地土壤微生物群落功能多样性,同时有利于提高土壤肥力。笔者对巨菌草的相关研究显示,种植巨菌草可明显影响群落的植物多样性,提高昆虫多样性^[34],本研究则表明巨菌草与互花米草、大米草等菌草一样具有一定的改良土壤的功能,同时对土壤微生物及其功能多样性产生影响,总的来说,巨菌草可产生一定的生态正效应。

References:

- [1] Lin Z X, L H. *Juncao Science*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2003: 2-45.
- [2] Xie L H, Cai J M. *Juncao: A new promising industry*. China daily, 1998-2-19(9).
- [3] Zheng J Y, Chen L F, Lin Z X. The analysis of Juncao industrial growth and its versatility. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(1): 304-308.
- [4] O'Donnell A G, Seasman M, Macrae A. Plants and fertilizers as drivers of change in microbial community structure and function in soils. *Plant and Soil*, 2001, 232(1/2): 135-145.
- [5] Wang Y S, Zhou B F. The sociological value of invention and development of Juncao technology. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Philosophy and Social Sciences)*, 2006, 9(1): 1-5.
- [6] Kennedy A C, Smith K L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil* 1995, 170: 75-86.
- [7] Mubarak A R, Rosenani A B. Soil organic matter fractions in humid tropics as influenced by application of crop residues. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2003, 34(7/

- 8):933-943.
- [8] Xu H Q, Xiao R L, Zou D S. Effects of long-term fertilization on functional diversity of soil microbial community of the tea plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8):3355-3361.
- [9] Shi P, Gao Q, Wang S P. Effects of continuous cropping of corn and fertilization on soil microbial community functional diversity. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(22):6173-6182.
- [10] Cao C Y, Yao J D, Han X S. Soil microbes functional diversity in sand-fixing *Caragana microphylla* communities in Horqin Sandy Land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(9):2309-2315.
- [11] Lin R Y, Rong H, Zhou J J. Impact of rice seedling allelopathy on rhizospheric microbial populations and their functional diversities. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9):3644-3654.
- [12] Zhou W X, Chen D L, Bu Y J. Effects of rice-straw returning to the field on them etabolic diversity of soil microbial communities. *Acta Scientiae Circum stantiae*, 2008, 28(2):326-330.
- [13] Kong W D, Liu K X, Liao Z W. Effects of organic matters on metabolic functional diversity of soil microbial community under pot incubation conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9):2291-2296.
- [14] Dong L, Yuan H M, Li S B. Influence on soil microbial community functional diversity for maize no-tillage with straw mulch. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(2):444-446.
- [15] Wang Z Q, Wang W D, Zhu G B, Yin C Q. A comparative study on the diversity of rhizospheric bacteria community structure in constructed wetland and natural wetland with reed domination. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(16):4489-4498.
- [16] Han Y Z, Zeng B, Zhao J J, Ming X Y, Guo E H, Gong W. Studies on Elephant Grass Rhizosphere Microbes. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(6):1350-1354.
- [17] Zeng Y, Tian G H, Chen L Y, L J, An D, Tang H, Peng S L. Influence of *Spartina alterniflora* invasion on soil ecosystem. *Chinese Journal of Ecology* 2011, 30(9):2080-2087.
- [18] Forage experimental station of Gansu agricultural university. Effects of *Onobrychis viciaefolia* Scop. on soil fertility. *China's grassland and forage grass*, 1986, 3(1):28-29.
- [19] Sun X, Chai Z P, Jiang P A, Jia M L, Liang W. Effects of Growing Grass on Soil Fertility of the Arid Land Apple Orchard in the South of Xinjiang. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(7):177-181.
- [20] Zhang S Z, Xia Z L, Wu S J. Effects of weed on soil fertility and fertilizer effect. *Soil fertilizer*, 1991(5):35-37.
- [21] Dong S K, Hu Z Z, Long R J, Kang M Y, Jiang Y. Effects of Mixture Perennial Grasses on Vegetation and Soil Fertility of Grassland and Economic Values of Mixture Grassland in Alpine Region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(3):98-101.
- [22] Zuo P, Liu C A. Impact A influence analysis of alien plant species along China's coastal zone with *Spartina anglica* Hubb. and *Spartina alterniflora* as an example. *Ocean Development and Management*, 2008(12):107-102.
- [23] Qing H, Yao Y H, Li H L. Biomass utilization potential of *Spartina alterniflora*. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(7):1216-1220.
- [24] Zhou H X, Liu J E, Qin P. Effects of an alien species (*Spartina alterniflora*) on soil microorganism diversity in salt marshes, Jiangsu coastal inter-tidal ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9):2304-2311.
- [25] Batten K M, Scow K M, Davies K F. Two invasive plants alter soil microbial community composition in serpentine grasslands. *Biological Invasions*. 2006, 8:217-230.
- [26] Wang M. Study on bacterial community structure and diversity in the rhizospheric soils of marsh plants in Jiuduansha wetlands located in the Yangtze River (Doctoral Dissertation). Shanghai: Fudan University, 2006:30-45.
- [27] Ravit B, Ehrenfeld J G, Hagglblom M M. A comparison of sediment microbial communities associated with *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora* in two brackish wetlands of New Jersey. *Estuaries*, 2003, 26(2B):465-474.
- [28] Zheng H, Ouyang Z Y, Fang Z G, Zhao T Q. Application of biolog on soil microbial community functional diversity. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(13):456-460.
- [29] Meng Q J, Xu Y L, Li C J, Han X Z, Pei X C. Effects of different vegetation coverage on microbial functional diversity in black soil. *Chinese Journal of Ecology* 2008, 27(7):1134-1140.
- [30] Li B, Liao C H, Zhang X D. *Spartina alterniflora* invasions in the Yangtze River estuary-China: An overview of current status and ecosystem effects. *Ecological Engineering*, 2009, 35:511-520.
- [31] Liao C Z, Luo Y Q, Jiang L F. Invasion of *Spartina alterniflora* enhanced ecosystem carbon and nitrogen stocks in the Yangtze Estuary. *Ecosystems*, 2007, 10:1351-1361.
- [32] Hooker B A, Morris T F, Peters R. Long-term effects of tillage and corn stalk return on soil carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69:188-196.
- [33] Wang H L, Li Y L, Zhang W Q, Wang L, Fu X H, Le Y Q. Distribution Characteristics and Environmental Effect of Wetland Soil Nutrients in Chongming Dongtan. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33(1):1-5.
- [34] Lin X S, Lin Z X, Lin D M, Lin H, Luo H L, Hu Y P, Lin C M, Zhu C Z. Effects of different years of planting *Pennisetum* sp. on the plant-and insect diversity in *Pennisetum* sp. communities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(10):2849-2854.

参考文献:

- [1] 林占熿, 林辉. 菌草学. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003: 2-45.
- [2] 谢联辉, 蔡俊迈. 菌草: 一个大有作为的新产业. 人民日报, 1998-2-19(9).

- [3] 郑金英,陈丽凤,林占熹.菌草产业成长及其多功能性探析.中国农学通报,2011,27(1):304-308.
- [5] 王豫生,周毕芬.菌草技术发明与发展的社会学价值.福建农林大学学报(哲学社会科学版),2006,9(1):1-5.
- [8] 徐华勤,肖润林,邹冬生.长期施肥对茶园土壤微生物群落功能多样性的影响.生态学报,2007,27(8):3355-3361.
- [9] 时鹏,高强,王淑平.玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响.生态学报,2010,30(22):6173-6182.
- [10] 曹成有,姚金冬,韩晓妹.科尔沁沙地小叶锦鸡儿固沙群落土壤微生物功能多样性.应用生态学报,2011,22(9):2309-2315.
- [11] 林瑞余,戎红,周军建.苗期化感水稻对根际土壤微生物群落及其功能多样性的影响.生态学报,2007,27(9):3644-3654.
- [12] 周文新,陈冬林,卜毓坚.稻草还田对土壤微生物群落功能多样性的影响.环境科学学报,2008,28(2):326-330.
- [13] 孔维栋,刘可星,廖宗文.不同腐熟程度有机物料对土壤微生物群落功能多样性的影响.生态学报,2005,25(9):2291-2296.
- [14] 董立国,袁汉民,李生宝.玉米免耕秸秆覆盖对土壤微生物群落功能多样性的影响.生态环境学报,2010,19(2):444-446.
- [15] 汪仲琼,王为东,祝贵兵.人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性的比较.生态学报,2011,31(16):4489-4498.
- [16] 韩玉竹,曾兵,赵建军.象草根际微生物研究.土壤通报,2010,41(6):1350-1354.
- [17] 曾艳,田广红,陈蕾伊.互花米草入侵对土壤生态系统的影响.生态学杂志,2011,30(9):2080-2087.
- [18] 甘肃农业大学牡草试验站.红豆草对土壤肥力的影响.中国草原与牧草,1986,3(1):28-29.
- [19] 孙霞,柴仲平,蒋平安.生草对新疆南部干旱区苹果园土壤肥力的影响.中国农学通报,2011,27(7):177-181.
- [20] 张椒珍,夏正连,吴胜军.稗草对土壤肥力的影响及施肥效果.土壤肥料,1991(5):35-37.
- [21] 董世魁,胡自治,龙瑞军.高寒地区混播多年生禾草对草地植被状况和土壤肥力的影响及其经济价值分析.水土保持学报,2002,16(3):98-101.
- [22] 左平,刘长安.中国海岸带外来植物物种影响分析——以大米草与互花米草为例.海洋开发与管理,2008(12):107-102.
- [23] 清华,姚懿函,李红丽.互花米草生物质能利用潜力.生态学杂志,2008,27(7):1216-1220.
- [24] 周虹霞,刘金娥,钦摇佩.外来种互花米草对盐沼土壤微生物多样性的影响——以江苏滨海为例.生态学报,2005,25(9):2304-2311.
- [26] 王蒙.长江口九段沙湿地盐沼植物根围细菌群落结构和多样性的研究(博士学位论文).上海:复旦大学,2006:30-45.
- [28] 郑华,欧阳志云,方治国.BIOLOG在土壤微生物群落功能多样性研究中的应用.土壤学报,2004,41(13):456-460.
- [29] 孟庆杰,许艳丽,李春杰.不同植被覆盖对黑土微生物功能多样性的影响.生态学杂志,2008,27(7):1134-1140.
- [33] 王红丽,李艳丽,张文俊.崇明东滩湿地土壤养分的分布特征及其环境效应.环境科学与技术,2010,33(1):1-5.
- [34] 林兴生,林占熹,林冬梅.不同种植年限的巨菌草对植物和昆虫多样性的影响.应用生态学报,2012,23(10):2849-2854.