

滨海沙地箬竹属 10 个竹种根际 土壤酶活性研究

涂志华, 洪雪沿, 潘 瑞, 陈礼光, 荣俊冬, 郑郁善*

(福建农林大学竹类研究所, 福建 福州 350002)

摘要: 对滨海沙地箬竹属 10 个竹种根际土壤酶活性和土壤养分进行测定分析, 结果表明: (1) 不同竹种根际土壤酶活性表现为河边竹、破蔑竹具有较高的蔗糖酶活性; 观音竹、青皮竹具有较高的蛋白酶活性; 佛肚竹、黄金间碧竹具有较高的脲酶活性; 纤维素酶活性较高的为青竿竹、凤尾竹; 过氧化氢酶活性较高为青皮竹、青竿竹。(2) 青竿竹、佛肚竹、黄金间碧竹、凤尾竹、观音竹、鼓节竹等竹种根际土壤有机质、氮、磷、钾元素含量高于其他竹种, 且显著高于裸地。(3) 相关性分析表明, 酶活性与 pH 呈现负相关, 有机质与酶活性达到极显著与显著水平相关, 而脲酶、纤维素酶与土壤养分元素达到极显著与显著相关水平, 表明了土壤酶活性能够作为表征土壤肥力情况的一个指标。

关键词: 沿海沙地; 箬竹属; 根际; 土壤酶活性; 土壤养分

中图分类号: S154.34 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2286(2012)03-0511-06

A Study on the Rhizosphere Soil Enzyme Activity of Ten Species of *Bambusa* in the Coastal Sandy Area

TU Zhi-hua, HONG Xue-yan, PAN Rui, CHEN Li-guang,

RONG Jun-dong, ZHENG Yu-shan*

(Research Institute of bamboo, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: A study was conducted on the rhizosphere soil enzyme activity and nutrient contents of ten species of *Bambusa* in the coastal sandy area. The results showed that (1) the activity of soil invertase of *B. multiplex* var. *strigosa*, *B. contracta* was higher; the activity of soil proteinase of *B. multiplex* var. *riviereorum* R. Maire, *B. textilis* was higher; the activity of soil urease of *B. ventricosa* McClure, *B. vulgaris* 'vittata' was comparatively high; the activity of soil cellulase of *B. tuldoidea* Munro, *B. multiplex* 'fernleaf' was comparatively high; the activity of soil catalase of *B. textilis*, *B. tuldoidea* Munro was comparatively high; (2) the soil nutrient contents of *B. tuldoidea* Munro, *B. ventricosa* McClure, *B. vulgaris* 'vittata', *B. multiplex* 'fernleaf', *B. multiplex* var. *riviereorum* R. Maire, *B. tuldoidea* 'Swolleninternode' were higher than those of other species, and also higher than that in bare land; (3) correlation analysis showed that there was a negative correlation between soil enzyme activity and pH, a significant and highly significant positive correlation between soil enzyme activity and soil organic matter was also found, it was also found between the activity of urease, cellulase and soil nutrients. It can be used as evaluation index of soil fertility.

Key words: coastal sandy area; *Bambusa*; rhizosphere; soil enzyme activity; soil nutrients

收稿日期: 2011-10-19 修回日期: 2012-04-10

基金项目: 福建省科技重大资助项目(2002N001、2010N5002)和福建省科技厅重点项目资助(2008Y0007)

作者简介: 涂志华(1986—), 男, 硕士生, 主要从事森林培育学及水土保持学研究, E-mail: fjsmtzh@126.com; *通讯作者: 郑郁善, 教授, 博士生导师, 主要从事森林培育学及水土保持学研究, E-mail: zys1960@163.com。

土壤酶是指土壤中的聚积酶,包括存在于活细胞中的胞内酶和存在于土壤溶液或吸附在土壤颗粒表面的胞外酶,主要来源于植物根系分泌物、土壤微生物的活动和动植物残体腐解过程中释放的酶^[1]。土壤酶是土壤组分中的有机成分之一,是土壤生物过程的主要调节者,参与了土壤环境中的一切生物化学过程,与有机物质分解、营养物质循环、能量转移、环境质量等密切相关^[2-3],因而土壤酶活性可以作为土壤肥力的评价指标^[4-6]。

滨海沙地是生态环境比较脆弱的地带,土壤多为风积、潮积沙土,保水保肥性差,肥力贫乏。长期以来只有少数的树种能够适应其恶劣的生境,造林的主要树种是木麻黄、湿地松等乔木,结构简单,生物多样性相对较差,不利于沿海防护林发挥改善生态环境和维护生态平衡的功能,而造林树种单一化,木麻黄二代更新等一系列问题^[7-8],一直困扰着沿海防护林体系建设和发展。为此,增加沿海防护林树种的多样性,实现沿海防护林可持续经营,成为海岸带防护林体系建设中一项迫切任务^[9]。沿海沙地引种竹子是增加防护林树种多样性的一种有效措施^[10]。目前在沿海沙地竹子的引种^[7]、养分动态^[8,10]、抗性生理^[11]等方面都有许多研究,但关于沿海沙地竹子土壤酶活性的研究未见报道。本研究通过对不同竹种根际土壤酶活性以及土壤养分进行研究,探讨不同竹种土壤肥力特征与酶活性的相关性,旨在为沿海沙地引种竹子的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

试验地位于福建省东山县赤山国有防护林场,为福建沿海南部,属亚热带海洋性季风气候。地理坐标为北纬 23° 24' ~23° 47', 东经 117° 18', 年平均气温 17~22 °C, 极端最高气温 33.9~39.8 °C, 极端最低气温 -3 °C; 年干湿季节明显, 年平均降水量 1 103 mm, 其中 60% ~80% 的年降水量集中于 3—6 月份, 年平均蒸发量 2 028 mm, 年平均相对湿度 80%。成土母岩多为花岗岩, 母质类型以海积物和风积物为主, 土壤主要为滨海沙土, 土壤结构疏松, 透水透气性强, 保水保肥能力低, 有机质含量较低, 养分贫乏。天然植被稀少, 林下常见零星植物有鼠刺(*Spinifex littoreus*)、牡荊(*Verbena negando*) 和木豆(*Cajanus cajan*)等。

1.2 样品采集与处理

试验林于 2001 年造林, 造林时选择 1-2 年生生长健壮, 节间匀称, 分枝较低, 无病虫害的母竹在春季种植, 株距 4.0 m×4.0 m, 每个竹种约种植 0.067 hm², 造林密度为 600 丛/hm², 现竹子保存较好, 林下枯枝落叶覆盖度较好, 竹种有新笋长出, 能进行繁殖, 已适应在沿海沙地生长, 生长情况良好。

2010 年 8 月于福建省东山县赤山国有防护林场, 选取在试验地引种的籼竹属中的 10 个竹种(表 1), 以附近裸地作为空白对照。根际土壤采用抖落法取样: 在试验地内, 每个竹种随机选取 3 株, 每株按东、南、西、北 4 个方位取土样进行混合, 每方位小心挖取 0~20 cm 土层处有根系周围的土体, 轻轻抖落附着在根系上的大颗粒沙土(非根际土壤), 用毛刷将紧贴在根系的沙土刷入自封袋(根际土壤), 取量约 0.5 kg。将土样带回实验室, 置于室内阴凉通风处风干, 剔除根系等杂物, 过 1 mm 筛测定土壤各类酶活性指标, 过 2 mm 及 0.149 mm 筛测定土壤养分指标。

表 1 籼竹属 10 个竹种的拉丁学名
Tab.1 Scientific name of ten bamboos of *Bambusa*

竹种	拉丁学名		生长状况
青竿竹	<i>B. tuldoidea</i> Munro	丛生竹	良好, 枝叶茂盛
凤尾竹	<i>B. multiplex</i> 'fernleaf'	丛生竹	良好, 凋落物较多
观音竹	<i>B. mutiplex</i> var. <i>riviereorum</i> R.Maire	丛生竹	良好, 凋落物较多
鼓节竹	<i>B. tuldeidse</i> 'Swolleninternode'	丛生竹	良好, 有新笋
破蔑竹	<i>B. contracta</i>	丛生竹	良好, 枝叶茂盛
青皮竹	<i>B. textilis</i>	丛生竹	良好, 枝叶茂盛
河边竹	<i>B. multiplex</i> vat. <i>strigosa</i>	丛生竹	良好, 枝叶茂盛
佛肚竹	<i>B. ventricosa</i> McClure	丛生竹	良好, 有新笋
花孝顺竹	<i>B. multiplex</i> 'alphonse-karr'	丛生竹	良好, 枝叶茂盛
黄金间碧竹	<i>B. vulgaris</i> 'vittata'	丛生竹	良好, 有新笋

1.3 试验方法

土壤酶测定^[1]: 蔗糖酶采用 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 滴定法测定; 蛋白酶采用茚三酮比色法测定; 脲酶采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定; 纤维素酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定; 过氧化氢酶采用 KMnO_4 滴定法测定。

土壤养分测定: pH 采用(水土比=2.5:1.0)酸度计测定; 有机质采用硫酸-重铬酸钾氧化外加加热法测定; 全氮采用半微量凯氏定氮法测定; 水解氮采用碱解扩散法测定; 全磷采用碱熔-钼锑抗比色法测定; 有效磷采用盐酸-硫酸浸提-钼锑抗比色法测定; 全钾采用碱熔定容-火焰光度计法测定; 速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度计法测定。各项测定均重复 4 次。

测定数据通过 Excel、DPS-v7.05 软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同竹种根际土壤酶活性分析

土壤蔗糖酶活性反映土壤有机碳分解转化的规律, 能将土壤中多糖水解成植物生长中能够直接利用的小分子葡萄糖或是果糖, 为土壤微生物提供能源。箬竹属 10 个竹种的蔗糖酶活性均比裸地的高, 且差异显著(表 2), 河边竹、破蔑竹根际土壤蔗糖酶活性最高, 相对裸地分别提高了 5.38、5.34 倍; 次之为花孝顺竹、佛肚竹、黄金间碧竹, 相对裸地分别提高了 4.52、4.50、4.19 倍, 3 者差异性不显著; 蔗糖酶最低的竹种为青竿竹、观音竹, 但相对裸地分别提高 2.54、2.51 倍。表明在盐碱沙地种植植物能够提高土壤蔗糖酶活性。

蛋白酶能够水解土壤中各种蛋白质以及肽类等化合物为氨基酸, 以供植物以及土壤微生物利用, 与土壤氮素营养的转化情况存在重要的相关性。裸地的蛋白酶活性最小, 不同竹种土壤蛋白酶活性大小不一, 其中观音竹最大, 是裸地的 4.62 倍; 次之为青皮竹、青竿竹、河边竹、佛肚竹, 分别为裸地的 4.54、4.05、4.03、3.25 倍; 箬竹属中鼓节竹蛋白酶活性最小, 是裸地的 1.85 倍。从中(表 2)可以看出不同竹种的蛋白酶活性相对于裸地都有不同程度的增加, 且差异显著, 表明了引种竹子能够增加土壤蛋白酶活性。

表 2 箬竹属 10 个竹种土壤酶活性比较

Tab.2 Comparison of soil enzyme activity of ten bamboos of *Bambusa*

竹种 Bamboos	蔗糖酶/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$) Invertase	蛋白酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$) Proteinase	脲酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$) Urease	纤维素酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 72\text{h}^{-1}$) Cellulase	过氧化氢酶/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 20\text{min}^{-1}$) Catalase
青竿竹 <i>B. tuldooides</i> Munro	0.254 6±0.016 6dE	0.116 2±0.044 3abA	0.028 1±0.001 9bcABC	0.057 5±0.001 5aA	0.610 1±0.025 4abAB
凤尾竹 <i>B. multiplex</i> 'fernleaf'	0.315 2±0.0243cD	0.079 3±0.006 3bcABC	0.019 8±0.002 3cC	0.056 3±0.003 8aAB	0.315 3±0.008 6abAB
观音竹 <i>B. multiplex</i> <i>var. riviereorum</i> R.Maire	0.252 3±0.0232 dE	0.132 6±0.032 7aA	0.023 7±0.002 8bcBC	0.051 6±0.002 5abAB	0.458 2±0.006 2abAB
鼓节竹 <i>B. uldeidae</i> 'Swolleninternode'	0.355 1±0.020 0bcCD	0.056 1±0.010 3cdBC	0.021 8±0.002 8cBC	0.045 7±0.007 8bcBC	0.382 8±0.017 2abAB
破蔑竹 <i>B. contracta</i>	0.448 5±0.010 3aAB	0.060 7±0.008 8cdBC	0.020 9±0.002 1cBC	0.033 0±0.002 0dD	0.492 4±0.024 9abAB
青皮竹 <i>B. textilis</i>	0.363 6±0.0139 bCD	0.130 2±0.005 5aA	0.025 3±0.002 4bcBC	0.039 4±0.005 2cdCD	0.719 6±0.717 1aA
河边竹 <i>B. multiplex</i> <i>vat. strigosa</i>	0.458 8±0.013 5aA	0.115 8±0.014 5abA	0.022 6±0.002 8bcBC	0.052 8±0.001 7abAB	0.473 3±0.010 2abAB
佛肚竹 <i>B. ventricosa</i> McClure	0.395 5±0.0352 bBC	0.093 2±0.016 0abcAB	0.038 5±0.010 3aA	0.036 3±0.004 6cdCD	0.575 6±0.037 7abAB
花孝顺竹 <i>B. multiplex</i> 'alphonse-karr'	0.396 6±0.013 4bBC	0.056 5±0.010 8cdBC	0.021 2±0.002 1cBC	0.045 2±0.005 1bcBC	0.439 9±0.017 1abAB
黄金间碧竹 <i>B. vulgaris</i> 'vittata'	0.373 5±0.004 8bC	0.059 2±0.008 2cdBC	0.031 1±0.002 1abAB	0.053 6±0.003 0abAB	0.316 3±0.012 3abAB
裸地 Bare land	0.071 9±0.000 1eF	0.028 7±0.003 7dC	0.006 5±0.002 1dD	0.008 7±0.000 6eE	0.082 1±0.0007 bB

数据为 $\bar{x} \pm S_x$; 小写字母表示显著差异($P < 0.05$), 大写字母表示极显著差异($P < 0.01$)。

The data was Mean ± Standard error; The lowercase letters indicate significant difference at 5% level. The capital letters indicate significant difference at 1% level.

土壤脲酶是专性较强的中性酶, 能酶促酰胺态有机氮化合物转化为氨 (NH_3) 和二氧化碳 (CO_2), 其中 NH_3 是植物生长需要的直接氮素来源, 在一定程度上表征土壤氮素供应的情况。由表 2 可知, 10 个竹种的根际土壤脲酶活性均大于裸地, 其酶活性表现为佛肚竹>黄金间碧竹>青竿竹>青皮竹>观音竹

>河边竹>鼓节竹>花孝顺竹>破蔑竹>凤尾竹>裸地, 相对于裸地提高的倍数最大的为 4.92 倍、次之为 3.78 倍、最小的为 2.05 倍, 表明沙地引种竹子可以提高脲酶活性。

纤维素酶是碳素循环转化中的重要酶之一, 分解土壤中碳水化合物的重要组分纤维素, 最终水解为可供植物利用的小分子可溶性葡萄糖。不同竹种的根际纤维素酶活性相对于裸地均有不同程度的提高, 而且存在显著差异(表 2), 呈现出青竿竹>凤尾竹>黄金间碧竹>河边竹>观音竹>鼓节竹>花孝顺竹>青皮竹>佛肚竹>破蔑竹>裸地, 相对裸地最大提高了 5.61 倍, 最小为 2.79 倍, 表明了竹子在沿海沙地上造林能够提高土壤纤维素酶活性。

过氧化氢酶是重要的氧化还原酶之一, 它将 H_2O_2 分解为 H_2O 以及 O_2 , 有利于防止 H_2O_2 积累造成对土壤微生物体等的毒害作用, 其活性的高低一定程度上反映了土壤生态环境的胁迫程度。由表 2 可知, 10 个竹种的根际土壤过氧化氢酶活性均比裸地高, 且不同竹种之间酶活性大小存在差异, 其顺序表现为青皮竹>青竿竹>佛肚竹>破蔑竹>河边竹>观音竹>花孝顺竹>鼓节竹>黄金间碧竹>凤尾竹>裸地, 相对裸地依次提高了 7.76、6.43、6.01、5.00、4.76、4.58、4.36、3.66、2.85、2.84 倍。

2.2 不同竹种根际土壤养分特性

从表 3 可以看出, 不同竹种根际土壤 pH 均小于裸地, 其中黄金间碧竹相对裸地降低幅度最大为 1.74 个单位, 次之为观音竹、破蔑竹、河边竹、青竿竹、鼓节竹, 而佛肚竹最小为 0.30 个单位。10 个竹种根际土壤有机质含量显著高于裸地, 其中以青竿竹最大, 相对裸地提高了 17.65 倍; 次之为佛肚竹、黄金间碧竹、河边竹、观音竹、青皮竹, 相对裸地分别提高了 16.87、14.09、13.50、11.58、9.41 倍; 最小为破蔑竹, 相对裸地提高 2.44 倍。不同竹种根际土壤全氮含量存在差异, 依次为佛肚竹>黄金间碧竹>青竿竹>观音竹>河边竹>凤尾竹>花孝顺竹>青皮竹>破蔑竹>鼓节竹, 其中佛肚竹、黄金间碧竹极显著高于裸地, 相对裸地分别提高了 11.34、9.10 倍; 而鼓节竹相对裸地提高了 4.43 倍。不同竹种水解氮含量相对于裸地均有不同程度的提高, 其中青竿竹提高了 2.99 倍最大; 次之为鼓节竹、河边竹、黄金间碧竹、观音竹、破蔑竹, 依次提高 2.23、2.21、2.18、1.94、1.69 倍; 凤尾竹提高了最少为 1.39 倍。各竹种根际土壤全磷含量存在显著差异, 变化情况为: 凤尾竹>佛肚竹>青竿竹>鼓节竹>黄金间碧竹>青皮竹>观音竹>河边竹>破蔑竹>花孝顺竹, 相对裸地依次提高了 2.53、2.29、2.28、1.78、1.77、1.65、1.57、1.54、0.60、0.56 倍。各竹种有效磷含量在 34.55~2.54 mg/kg, 其中观音竹、

表 3 籼竹属 10 个竹种土壤养分含量比较

Tab.3 Comparison of soil nutrients of ten bamboos of *Bambusa*

竹种 Bamboos	pH	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	全氮 /(g·kg ⁻¹) Total N	水解氮 /(mg·kg ⁻¹) Available N	全磷 /(g·kg ⁻¹) Total P	有效磷 /(mg·kg ⁻¹) Available P	全钾 /(g·kg ⁻¹) Total K	速效钾 /(mg·kg ⁻¹) Available K
青竿竹 <i>B. tuldoidea</i> Munro	5.32±0.01eE	22.57±2.89aA	1.19±0.00 cC	100.21±5.51a A	0.28±0.03abc AB	2.54±0.55efE F	10.07±0.21fE F	7.06±0.30bB
凤尾竹 <i>B. multiplex</i> 'fernleaf'	5.61±0.02cCD	10.76±0.91efDE	0.84±0.01 fF	60.1±1.32dC	0.30±0.02aA	3.78±0.95def DEF	15.47±0.08aA	7.17±0.40bB
观音竹 <i>B. multiplex</i> var. <i>riviereorum</i> R.Maire	4.91±0.01gGH	15.23±0.37cdB CD	1.06±0.03 dD	73.98±10.37b cdBC	0.22±0.04dC	34.55±2.07aA	12.94±0.08cC	5.74±0.35cdB C
鼓节竹 <i>B. tuldoidea</i> 'Swolleninternode'	5.52±0.01dD	12.02±1.17defD E	0.67±0.00 gG	81.23±1.27bA B	0.24±0.02bcd BC	8.36±1.31cC C	15.29±0.19aA	6.28±0.54bcd BC
破蔑竹 <i>B. contracta</i>	5.01±0.01fFG	4.16±0.26ghFG	0.68±0.00 gG	67.62±3.59bc dBC	0.14±0.02eD	4.94±0.56cde CDEF	9.15±0.13gG	5.26±0.13dC D
青皮竹 <i>B. textilis</i>	5.65±0.05cC	12.60±0.76deC DE	0.81±0.01 fF	63.99±3.16cd BC	0.23±0.02dC	6.86±1.30cdC DE	9.52±0.12gF G	3.81±0.51eD
河边竹 <i>B. multiplex</i> vat. <i>strigosa</i>	5.08±0.04fF	17.56±1.70bcA BC	0.9±0.02e E	80.75±10.00b B	0.22±0.03dC	5.31±1.45cde CDEF	14.03±0.00bB	6.7±0.33bcB C
佛肚竹 <i>B. ventricosa</i> McClure	6.26±0.03bB	21.63±0.80abA	1.53±0.00 aA	62.9±5.95dB C	0.28±0.01abA B	28.92±2.01bB	11.03±0.19dD	9.17±0.86aA
花孝顺竹 <i>B. multiplex</i> 'alphonse- karr'	5.56±0.03cdC D	8.12±1.97fgEF	0.84±0.01 fF	65.6±2.98bcd BC	0.13±0.01eD	8.09±0.95cC D	10.56±0.08eD E	6.91±0.22bcB
黄金间碧竹 <i>B. vulgaris</i> 'vittata'	4.82±0.01hH	18.26±2.56abcA B	1.25±0.03 bB	79.83±4.05bc B	0.24±0.02cdB C	5.71±1.46cde CDE	14.43±0.02bB	5.33±0.25dC
裸地 Bare land	6.56±0.06aA	1.21±0.11hG	0.12±0.00 hH	25.14±0.79eD	0.09±0.00fD	1.09±0.02fF	3.43±0.34hH	1.69±0.15fE

数据为 $\bar{x} \pm S\bar{x}$; 小写字母表示显著差异($P<0.05$), 大写字母表示极显著差异($P<0.01$)。

The data was Mean \pm Standard error; The lowercase letters indicate significant difference at 5% level. The capital letters indicate significant difference at 1% level.

佛肚竹极显著大于裸地及其它竹种,相对裸地分别提高了 30.70、25.54 倍,次之为鼓节竹、花孝顺竹、青皮竹、黄金间碧竹、河边竹,最小的为青竿竹。10 个竹种全钾含量相对裸地提高的程度不一,其变化情况为:凤尾竹>鼓节竹>黄金间碧竹>河边竹>观音竹>佛肚竹>花孝顺竹>青竿竹>青皮竹>破蔑竹,前者比后者依次提高了 3.51、3.46、3.21、3.09、2.77、2.22、2.08、1.94、1.78、1.67 倍。裸地的速效钾最小,不同竹种速效钾含量最大的为佛肚竹,其次是凤尾竹、青竿竹、花孝顺竹、河边竹、鼓节竹,最小为青皮竹。

2.3 土壤酶与土壤养分的相关性分析

对不同竹种之间的根际土壤酶活性与土壤养分进行相关性分析,由表 4 可知,二者存在一定的相关性,并且有部分达到显著或极显著的水平。其中,酶活性与 pH 呈现负相关,与其他养分均呈正相关;表明在一定的 pH 范围内,随着 pH 的降低酶活性增强,而土壤有机质、N、P、K 养分含量的越多,酶活性越大。pH 与纤维素酶呈显著负相关,相关系数达 -0.700;有机质与脲酶具极显著正相关(相关系数达 0.840),与蛋白酶、纤维素酶显著正相关;全氮与脲酶也呈现极显著正相关(相关系数达 0.959),与纤维素酶呈显著正相关;水解氮、全钾与纤维素酶呈极显著正相关(相关系数分别为 0.834、0.837);全磷、速效钾与脲酶、纤维素酶均呈显著正相关;有效磷与酶活性无显著相关。总的来说,脲酶、纤维素酶活性与土壤养分含量密切相关,表明土壤酶活性的大小在一定程度上是土壤肥力的高低。

表 4 箬竹属 10 竹种根际土壤酶与养分的相关性

项目 Items	pH	有机质 Organic matter	全氮 Total N	水解氮 Available N	全磷 Total P	有效磷 Available P	全钾 Total K	速效钾 Available K
蔗糖酶 Invertase	-0.493	0.285	0.458	0.488	0.245	0.051	0.548	0.564
蛋白酶 Proteinase	-0.347	0.633*	0.515	0.505	0.549	0.432	0.272	0.299
脲酶 Urease	-0.263	0.840**	0.959**	0.599	0.682*	0.476	0.456	0.718*
纤维素酶 Cellulase	-0.700*	0.672*	0.629*	0.834**	0.715*	0.103	0.837**	0.626*
过氧化氢酶 Catalase	-0.263	0.541	0.569	0.573	0.433	0.267	0.156	0.432

*,表示 $p < 0.05$,达到显著相关;**,表示 $p < 0.01$,达到极显著相关。

*, indicate the correlation achieves significance at 5% level;**, indicate the correlation achieves extreme significance at 1% level.

3 结论与讨论

(1) 箬竹属 10 个竹种中,根际土壤酶活性表现为河边竹、破蔑竹具有较高的蔗糖酶活性;观音竹、青皮竹具有较高的蛋白酶活性;佛肚竹、黄金间碧竹具有较高的脲酶活性;纤维素酶活性较高的为青竿竹、凤尾竹;过氧化氢酶活性较高为青皮竹、青竿竹。因不同的竹种,其根系形态特征不一,细根数量、跟比表面积、根直径、根的空间分布的情况以及根系脱落物等存在差异;而其生活形态如观音竹、凤尾竹是小径材竹,秆直径大约 0.5 cm,叶片较小叶宽约 1.2 cm,高约 1 m;而河边竹、破蔑竹、青竿竹、青皮竹、花孝顺竹为中小径材竹,秆直径大约 2.5 cm,叶片较观音竹的叶宽,约 1.8 cm,高约 3~4 m;而佛肚竹、鼓节竹为中径材竹,秆直径大约 5~7 cm,叶片较宽 3.5 cm;黄金间碧竹为大径材竹,秆直径大约 10 cm,叶片较宽约 5~7 cm,竹高约 6 m,因不同竹种的生态学特性不一造成了不同竹种的土壤酶活性存在差异,并且规律不显著;蔗糖酶、纤维素酶与碳素的转化关系密切,从中可以得出河边竹、破蔑竹、青竿竹、凤尾竹等竹种根际土壤中碳素转化速率相对较快,而蛋白酶、脲酶与氮素转化关系密切,因而观音竹、青皮竹、佛肚竹、黄金间碧竹氮素转化速率比较快;而青皮竹、青竿竹具有较强的减轻土壤因过氧化氢积累而造成毒害的能力。不同竹种的酶活性高于裸地,这与竹子根际土壤这一特殊的微环境有关,竹子根系的脱落物分解、根系的分泌物是土壤酶的来源之一,因而相对于没有耕作的裸地来说,酶活性故而有一定程度的增加;说明了沙地引种竹子能够提高土壤酶活性。

(2) 10 个竹种中,青竿竹、佛肚竹、黄金间碧竹、凤尾竹、观音竹、鼓节竹等竹种根际土壤有机

质、氮、磷、钾元素含量高于其他竹种,且显著高于裸地,说明了在沙地上种植竹子能够一定程度提高土壤肥力,改善林地的土壤生态环境。不同竹种提高土壤肥力的程度不一,其不同竹种的秆茎、叶大小、根系的特征如上已经表述可以看出不同竹种间存在着差异,而其最主要的原因是不同竹种的根系脱落物腐烂分解情况存在较大的差异,再者枯枝落叶经土壤微生物分解的情况也存在差异,故而造成不同竹种的养分含量存在较大的差异。

(3)相关性分析表明,酶活性与pH呈现负相关,有机质与酶活性达到极显著与现在水平相关,说明了土壤酶活性土壤有机质的相关性较高;而脲酶、纤维素酶与土壤养分相关性较优,达到极显著与显著相关水平,表明了土壤酶活性能够作为表征土壤肥力情况的一个指标。

(4)植物根系、土壤微生物以及土壤三者之间存在着复杂的相互影响、相互促进的关系。根际区的土壤微生物经过一系列生化反应能将根系的脱落物分解,为植物的生长提供有效的碳、氮养分^[12];而土壤酶来源于根系的脱落物分解、根系的分泌物以及土壤微生物的分泌,作为土壤生物化学过程的积极参加者,对土壤养分循环、有机质转化具有重要的作用,它通过参与一系列生化反应,将土壤中难以被植物吸收利用的养分、有机质进行有效化,为植物生长提供所需的养分,进而促进植物的生长;反过来植物的良好生长,能促进根系的发育以及生长,同时凋落物也增多,这样就形成了竹子生物化学养分的良性循环。在沿海沙地引种竹种,因竹子鞭根的特殊性,在土壤中交错盘结,大量的分泌物以及大量的老化根系凋落物经过分解后返回土壤,改良了原来贫瘠的沙地土壤,增加了土壤团粒结构,为土壤微生物提供了良好的生存环境,进一步分解根系凋落物以返回植物生长需要的营养元素。本研究通过分析关于土壤碳素、氮素转化相关的酶活性以及土壤养分,观音竹、青皮竹、佛肚竹、黄金间碧竹、青竿竹、河边竹、破蔑竹、凤尾竹、等竹种的根际土壤酶活性相对较高,土壤的碳素、氮素的转化速率相对较高,能够提供较多的有效营养养分给竹子生长利用;而青竿竹、佛肚竹、黄金间碧竹、凤尾竹、观音竹、鼓节竹等竹种根际土样养分含量较高,具有能够为竹子生长所需要的可直接吸收N、P、K有效养分,而全N、全P、全K则能够被土壤酶转化以供竹子利用。

综上所述,青竿竹、佛肚竹、黄金间碧竹、凤尾竹、观音竹、青皮竹等竹种根际土壤酶活性以及土壤养分含量方面相对裸地提高的程度表现良好,可作为在滨海沙地引种优选竹种,对增加沿海防护林生物多样性,营建稳定、可持续发展的沿海防护林具有重要的作用。

参考文献:

- [1] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [2] DICK R P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality[A]. in: Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, et al, Defining soil quality for a soil enzyme activities as integrative indicators of soil health[A]. in: Pankhurst C E, Double B M, Gupta V V S R. (Eds.), Biological Indicators of Soil Health[M]. CAB International, Wallingford, UK, 1997:121-156.
- [3] YAO XIAO-HUA, HANG MIN, LU ZHEN-HUA, et al. Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration[J]. European Journal of Soil Biology, 2006(42):120-126.
- [4] 秦嘉海,金自学,王进,等.祁连山不同林地类型对土壤理化性质和水源涵养功能的影响[J].水土保持学报,2007,21(1):92-95.
- [5] 葛永金,袁位高,江波,等.浙江省生态公益林土壤理化性质的初步研究[J].江西农业大学学报,2006,28(2):828-832.
- [6] 张伟,陈洪松,王克林,等.种植方式和裸岩率对喀斯特洼地土壤养分空间分异特征的影响[J].应用生态学报,2007,18(7):1459-1463.
- [7] 张梅,郑郁善,陈礼光.滨海沙地竹子引种试验初报[J].西南林学院学报,2007,27(1):48-50,62.
- [8] 张梅,郑郁善.滨海沙地吊丝单竹林凋落物分解及养分动态研究[J].西南林学院学报,2008,28(3):4-7.
- [9] 徐俊森.福建海岸木麻黄防护林更新造林技术研究[J].防护林科技,2005(4):5-8.
- [10] 荣俊冬,郝瑞,祝杰伟,等.沿海沙地竹林细根养分含量及其季节动态[J].福建林学院学报,2007,27(4):313-317.
- [11] 郑郁善,郑容妹,姚庆端.盐分胁迫对沿海沙地绿竹生理生化的效应[J].福建农林大学学报:自然科学版,2003,32(4):478-481.
- [12] 卫云燕,尹华军,刘庆,等.夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响[J].生态学报,2011,31(3):698-708.