

不同年龄木麻黄林地根际土壤养分含量和酶活性动态

叶功富^{1,3}, 侯杰^{2,*}, 张立华², 卢昌义³, 陈胜⁴, 黄荣钦⁴

(1.福建省林业科学研究院,福州 350012; 2.福建农林大学林学院,福州 350002;
3.厦门大学海洋与环境学院,厦门 361005; 4.福建省东山赤山林场,惠安 363400)

摘要: 在福建省东山县滨海沙地,开展了不同年龄木麻黄林地根际和非根际土壤养分和酶活性的测定,研究结果表明:(1)不同年龄木麻黄林地根际 pH 小于非根际土壤,随林龄增长根际土壤和非根际土壤 pH 值均表现为下降趋势;根际土壤有机质、全氮和水解氮含量高于非根际土壤,各土层有机质含量在中龄林时最大;从中龄林阶段至过熟林,水解氮含量下降;全磷和速效磷含量从幼林发育至中龄林、近熟林逐渐减少,至过熟林略有恢复;根际土壤全钾、速效钾含量呈增加趋势。(2)不同年龄木麻黄林地根际 CEC 值、水解性总酸度、交换性盐基总量、交换性 Mg^{2+} 均大于非根际土壤;幼龄根际交换性 Ca^{2+} 低于非根际;土壤 CEC 值在中龄林时最高。(3)不同年龄木麻黄林地根际土壤磷酸酶、过氧化物酶和多酚氧化酶活性均大于非根际土壤;随着林木的生长,根际和非根际土壤磷酸酶活性逐渐升高,并且根际与非根际间的差异也呈增大趋势;根际过氧化物酶活性从幼龄林到中龄林下降,随着林木生长至过熟林有所升高;根际多酚氧化酶活性在过熟林阶段高于其它发育阶段。

关键词: 木麻黄; 根际土壤; 土壤养分; 酶活性

中图分类号: S158.3; S154.2 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2006)04-0086-04

Rhizosphere Soil Nutrient and Enzyme Activity in Different Stand Age of *Casuarina equisetifolia* Protection Forest

YE Gong-fu^{1,3}, HOU Jie^{2,*}, ZHANG Li-hua², LU Chang-yi³, CHEN Sheng⁴, HUANG Rong-qin⁴

(1. Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012; 2. Forestry College, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002;
3. College of Oceanography and Environmental Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005;
4. Chishan Forestry Farm of Dongshan County, Fujian Province, Dongshan 363400)

Abstract This article emphatically reviews the difference of soil chemical properties and biochemical activities between the rhizosphere and non-rhizosphere soil in different stages of *Casuarina equisetifolia*. It also reviews their dynamic patterns during *Casuarina equisetifolia* development. The result showed as follows: (1) In different stages of *C. equisetifolia* protection forest development, the pH value in rhizosphere soil was lower than that in non-rhizosphere soil and it shows the trend of declination in both rhizosphere soil and non-rhizosphere soil; The contents of organic matter, total N and hydrolytic N in rhizosphere soil was more than those in non-rhizosphere soil; Hydrolytic N shows the trend of declination in both rhizosphere soil and non-rhizosphere soil from half-mature stage to mature-stage; the content of total P and available P decreases from young stage to near-mature stage, and rehabilitate a little at mature stage; the content of total K and available K increases in rhizosphere soil. (2) In different stages of *C. equisetifolia* plantation development, the CEC, hydrolytic acidity and exchange Mg^{2+} in rhizosphere soil were more than those in non-rhizosphere soil, except for exchange Ca^{2+} in young *C. equisetifolia* protection forest; the CEC of soil arrive its max in half-mature stage. (3) As for the variation of the soil enzyme activity in different stages of *C. equisetifolia* protection forest, phosphatase, peroxidase and polyphenol oxidase were more active in rhizosphere soil than in non-rhizosphere soil; there was no obvious change on activity of urease; during stages of *C. equisetifolia* forest development, the active of phosphatase shows the trend of increase in both rhizosphere soil and non-rhizosphere soil, moreover, the difference between rhizosphere soil and non-rhizosphere soil were more obviously; the active of polyphenol oxidase in rhizosphere soil was more than that in other stages.

Key words *Casuarina equisetifolia*; rhizosphere soil; soil nutrient; enzyme activity

收稿日期: 2006-02-01 * 通讯作者

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2004BA516A13-15)和国家林业局南方山地用材林培育重点实验室资助项目

作者简介: 叶功富,男,生于1966年,博士,教授级高工,研究方向:沿海防护林生态与经营。

根际是围绕于植物活根的土壤微域,由于受根系生理活动的影响,在物理、化学和生物特性上有不同于原土体的特殊土区,是土壤水分和矿物质进入根系参与生物循环的门户,同时也是根系自身生命活动和代谢对土壤影响最直接最强烈的区域^[1]。木麻黄 (*Casuarina equisetifolia*) 是我国东南沿海的主要造林树种,在防风固沙、改良土壤和改善海岸带生态环境方面具有突出的作用。但近年来,沿海木麻黄防护林老化,地力减退现象严重,导致防护功能下降,为此相关学者开展了木麻黄林地土壤肥力研究^[2-4],然未见不同年龄木麻黄林地根际土壤性质变化的报道。为了揭示木麻黄生长过程中沿海沙地土壤性质的变化规律和机理,探讨木麻黄根系-土壤间相互关系和影响,本文对滨海沙地不同年龄木麻黄林地根际和非根际土壤养分和酶活性进行了较为细致的测定,以期为沿海木麻黄防护林的经营提供科学依据。

1 材料与与方法

1.1 试验地概况

试验样地在福建省东山县赤山林场,位于福建省南部,东经 118° 18',北纬 23° 40',属亚热带海洋性季风气候,年平均温度 20.8℃,年均降水 1 164 mm,多集中在台风多发的 5~9 月,自然灾害多是台风和干旱。土壤以沙地为主,肥力较差。整个生态系统以木麻黄为主。林下植被稀少,常见的零星植被有木豆 (*Cajanus cajan*)、鼠刺 (*Spinifex littores*) 和牡荆 (*Verbena negando*)。依据木麻黄防护林生长发育阶段的划分^[5],选取相同立地条件下木麻黄 5 年生、12 年生、18 年生及 43 年生人工林,分别设置面积为 20 m × 20 m 的样地,进行每木调查,选取平均木。不同年龄木麻黄林样地概况见表 1。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤取样方法 取样采用掘根抖落法:用取土器在平均木周围取出长大约 50 cm(直径 8 cm)的土柱,分表土(0~20 cm)和心土(20~40 cm)两层,小心地取出土柱内的细根,轻轻抖落附在根上的 3 mm 以内的土壤即为根际土壤(以 R 表示),取相应土层土壤为非根际土壤(以 S 表示)。分别采集多株平均木根际和非根际土壤混合样品,四分法将部分土样带回实验室风干,去除有机碎片,过 2 mm 筛备用。

1.2.2 土壤测定方法 土壤 pH 值、交换性能、养分分析均采用常规分析方法^[6]。土壤酶活性严格参照《土壤酶及其研究法》^[7]进行,其中脲酶用比色法,磷酸酶用磷酸苯二钠比色法,过氧化物酶用容量法,多酚氧化酶用碘量滴定法测定。

2 结果与分析

2.1 不同年龄木麻黄林地根际土壤养分状况

林木生长过程中,其根系不断地从环境中吸收水分和养分,根系对水分和养分吸收速率的不同使根际养分出现亏缺和富集^[8]。不同年龄木麻黄林地土壤养分状况分析结果见表 2。由表 2 可见,不同年龄木麻黄林地根际土壤有机质含量高于非根际土壤,各土层有机质含量在中龄林时达到最大值。木麻黄根际全氮、水解氮的含量均要高于非

表 2 不同年龄木麻黄林地根际和非根际土壤养分含量变化

林分	土壤深度 (cm)	区域	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	水解氮 (mg/kg)	全磷 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	全钾 (g/kg)	速效钾 (mg/kg)
幼龄林 (5a)	表土层 (0~20)	根际 R	2.606	0.239	8.54	0.013	0.30	11.26	10.06
		非根际 S	1.837	0.198	6.92	0.011	0.25	10.00	20.08
	心土层 (20~40)	根际 R	1.046	0.166	2.15	0.011	0.25	10.04	10.05
		非根际 S	0.790	0.158	2.15	0.008	0.20	10.07	10.08
中龄林 (12a)	表土层 (0~20)	根际 R	3.392	0.259	12.35	0.009	0.15	11.30	20.12
		非根际 S	2.504	0.225	8.85	0.009	0.15	11.27	20.14
	心土层 (20~40)	根际 R	2.916	0.248	7.27	0.006	0.15	11.33	10.08
		非根际 S	1.510	0.203	5.07	0.006	0.15	11.19	10.04
近熟林 (18a)	表土层 (0~20)	根际 R	3.275	0.274	10.52	0.006	0.18	11.00	20.14
		非根际 S	2.040	0.219	6.41	0.007	0.15	11.12	20.14
	心土层 (20~40)	根际 R	2.592	0.255	5.92	0.006	0.10	12.51	10.09
		非根际 S	1.155	0.197	2.95	0.006	0.13	12.35	10.02
过熟林 (43a)	表土层 (0~20)	根际 R	2.827	0.237	8.88	0.014	0.10	12.41	30.27
		非根际 S	1.860	0.196	7.91	0.011	0.10	13.66	20.14
	心土层 (20~40)	根际 R	2.261	0.189	4.21	0.013	0.20	11.19	20.14
		非根际 S	1.524	0.163	4.52	0.012	0.15	12.48	20.12

根际土壤。各土层中全氮含量随林龄的增大而增加,至过熟林略有下降。在表土层,各发育阶段根际水解氮的含量是对应非根际的 1.23 倍、1.39 倍、1.64 倍和 1.22 倍。从幼龄林至中龄林阶段,水解氮含量增加,此后呈逐渐下降趋势。木麻黄根瘤具有固氮能力,幼龄林至中龄林时期,林木生理活动旺盛,固氮菌数量增加,有效氮含量增多且在根际周围富集。全磷和速效磷在根际和非根际土壤中的变化不大明显,其含量从幼林发育至中龄林、近熟林逐渐减少,至过熟林略有恢复,表明木麻黄在生长过程中对磷的需求量较大。随着林木生长,根际土

壤中的全钾含量呈增加趋势,幼龄林时期,根际速效钾含量低于非根际土壤,随着林龄增大,根际速效钾含量增加,到过熟林阶段,根际速效钾含量大于非根际。速效钾含量在表土层与心土层中的差异很大,心土层显著小于表土层。

2.2 不同年龄木麻黄林地根际土壤 pH 值及交换性能的变化

阳离子交换量 (CEC) 的大小是土壤复合胶体的重要特征之一,是土壤保肥能力、缓冲能力的重要指标,直接反映土壤速效养分 (交换性阳离子) 的数量。土壤阳离子交换量大小受粘粒含量、有机质含量以及 pH 状况等因素影响^[1]。从表 3 可以看出,在林木生长的各个阶段,无论表土层还是心土层木麻黄根际土壤 CEC 值、水解性总酸度均大于非根际土壤。根际土壤 pH 值均小于非根际土壤且在林木的整个生长过程中呈下降趋势。可见,木麻黄生长过程对林地土壤有一定程度的酸化。根际

表 3 木麻黄林地根际和非根际土壤交换性能变化 cmol/kg

林分	土壤深度 (cm)	区域	pH 值	CEC	水解性总酸度	交换性盐基总量	交换性镁	交换性钙
幼龄林 (5a)	表土层 (0~20)	根际 R	5.44	1.985	1.21	0.778	0.088	0.446
		非根际 S	5.47	1.765	0.99	0.771	0.067	0.460
	心土层 (20~40)	根际 R	5.38	1.085	0.36	0.782	0.150	0.329
		非根际 S	5.53	0.984	0.20	0.723	0.119	0.418
中龄林 (12a)	表土层 (0~20)	根际 R	5.22	2.344	1.51	0.835	0.088	0.489
		非根际 S	5.24	2.065	1.31	0.756	0.078	0.421
	心土层 (20~40)	根际 R	5.10	2.127	1.40	0.726	0.135	0.346
		非根际 S	5.13	1.678	1.16	0.513	0.077	0.210
近熟林 (18a)	表土层 (0~20)	根际 R	5.16	1.833	1.33	0.504	0.088	0.377
		非根际 S	5.17	1.712	1.29	0.423	0.052	0.333
	心土层 (20~40)	根际 R	5.19	1.733	1.41	0.616	0.156	0.422
		非根际 S	5.22	1.651	1.10	0.549	0.129	0.381
过熟林 (43a)	表土层 (0~20)	根际 R	4.98	2.336	1.21	1.126	0.228	0.626
		非根际 S	5.11	1.889	0.93	0.962	0.186	0.518
	心土层 (20~40)	根际 R	5.21	1.965	0.95	1.010	0.326	0.474
		非根际 S	5.46	1.812	0.86	0.950	0.197	0.502

pH 值的降低,会改变根表的电荷性质,从而影响根系对养分的吸收。交换性盐基总量均是根际大于非根际土壤,且心土层根际与非根际之间的差异大于表土层,在中龄林阶段表现更为明显。中龄林木生理活动最为旺盛,而且林地表土层侧重于吸收养分,心土层侧重吸收水分,盐分积累主要与吸水过程有关^[9]。

从表 3 看出,在幼龄林阶段,无论表土层还是心土层,根际土壤交换性 Ca^{2+} 均低于非根际土壤,以后各阶段则是根际土壤含量高于非根际土壤。由幼龄林发育至近熟林,根际和非根际土壤中交换性 Ca^{2+} 含量有所下降,过熟林交换性 Ca^{2+} 最高。可能原因是在中龄林,近熟林阶段是木麻黄需 Ca^{2+} 的高峰期,而发育至过熟林阶段,林木生理活动减弱,对其吸收减少,从而有所积累。凋落物的分解也是后期钙增加的可能原因之一。

交换性 Mg^{2+} 在不同发育阶段根际高于非根际土壤,且心土层要高于相应的表土层,这可能是砂质土壤 Mg^{2+} 的淋失较严重的缘故。与交换性 Ca^{2+} 相同的是,在过熟林阶段,交换性 Mg^{2+} 含量处于其生长发育过程中的最高水平。

表 4 木麻黄林地根际和非根际土壤酶活性变化

林分	土壤深度 (cm)	区域	脲酶	磷酸酶	过氧化物酶	多酚氧化酶
幼龄林 (5a)	表土层 (0~20)	根际 R	0.00443	1.060	1.77	0.384
		非根际 S	0.00420	0.675	1.40	0.368
	心土层 (20~40)	根际 R	0.00355	0.346	1.72	0.360
		非根际 S	0.00353	0.201	1.66	0.356
中龄林 (12a)	表土层 (0~20)	根际 R	0.00360	1.283	1.40	0.304
		非根际 S	0.00430	0.831	1.35	0.308
	心土层 (20~40)	根际 R	0.00453	1.245	1.04	0.368
		非根际 S	0.00313	0.391	1.25	0.340
近熟林 (18a)	表土层 (0~20)	根际 R	0.00357	1.216	1.35	0.356
		非根际 S	0.00373	0.596	1.20	0.308
	心土层 (20~40)	根际 R	0.00292	0.908	1.25	0.368
		非根际 S	0.00449	0.269	1.40	0.300
过熟林 (43a)	表土层 (0~20)	根际 R	0.00358	1.617	1.40	0.376
		非根际 S	0.00363	0.823	1.20	0.356
	心土层 (20~40)	根际 R	0.00416	1.277	1.51	0.364
		非根际 S	0.00353	0.585	1.46	0.316

注:脲酶活性以 24 h 后 1 g 土壤中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的毫克数表示;磷酸酶活性,以 2 h 后 100 g 土壤中 P_2O_5 的毫克数表示;多酚氧化酶活性,以滴定相当于 1 g 土壤滤液的 0.01 mol/L I_2 的毫升数表示;过氧化物酶活性,以 1 g 土壤消耗的 0.01 mol/L I_2 标准液的毫升数表示。

2.3 不同年龄木麻黄林地根际和非根际土壤酶活性的变化

土壤中的一切生物化学过程都是在土壤酶的作用下进行的,土壤酶的活性直接影响土壤养分的供应和储存,是土壤生物活性强度的标志之一。不同年龄木麻黄林地根际和非根际土壤酶活性动态见表 4。

分析结果表明,不同年龄木麻黄林地根际土壤磷酸酶、过氧化物酶活性均大于非根际土壤,根际土壤酶活性增强与根际土壤积累种类和数量均较大的根系分泌物及根际土壤微生物增殖较快,活性较高有关。随着林木的生长,无论表土层还是心土层中,根际和非根际土壤磷酸酶活性逐渐升高,并且随着林龄的增加,根际磷酸酶活性比非根际高的幅度也有增大的趋势。

在表土层,根际磷酸酶活性与非根际的差值依次为: 0.385, 0.452, 0.620, 0.794, 心土层 0.145, 0.454, 0.639, 0.692, 可见根际与非根际间磷酸酶活性差异也随林龄而在增大。磷酸酶活性的增加有利于土壤中磷

化合物的转化,提高土壤磷素的有效性。脲酶是对土壤中尿素进行催化水解的一种比较专性的酶。在木麻黄生

长发育过程中, 无论表土层还是心土层, 脲酶活性的变化幅度不大, 只是在近熟林阶段略有降低。

根际和非根际过氧化物酶活性从幼龄林到中龄林呈下降趋势, 随着林木生长, 到成熟林又有所升高。在木麻黄发育至中龄林及近熟林阶段, 表土层根际过氧化物酶活性大于非根际, 心土层根际酶活性小于非根际。过氧化物酶参与腐殖质的合成, 能酶促土壤有机质氧化成醌。

多酚氧化酶参与土壤有机组分中芳香族化合物的转化作用, 是腐殖化的一种媒介。由表 4 可见, 在各个阶段, 根际土壤多酚氧化酶活性高于非根际土壤, 多酚氧化酶活性在过熟林阶段为 0.376(表土层)和 0.364(土层), 处于最大值。有学者研究认为, 多酚氧化酶活性的增强可能导致连栽杉木中毒, 引起林分生产力下降。

3 结论与讨论

不同年龄木麻黄林地根际 pH 小于非根际土壤, 随林龄增长根际土壤和非根际土壤 pH 值均呈下降趋势; 在木麻黄生长过程中, 一方面根际 pH 值的下降能提高多种矿质养分的有效性, 促进植物对 Fe Mn Zn B 等微量元素的吸收, 促进植物生长和提高病虫害的能力^[10], 对木麻黄生长有一定促进作用; 另一方面, 土壤呈酸化趋势, 促进某些养分有效性转化的同时导致林地退化, 在生产过程中应通过营造混交林等途径及时进行调控, 防止土壤恶性循环。木麻黄林地各土层有机质含量随林龄增长, 至中龄林时最大, 而后又呈下降趋势; 从中龄林至过熟林, 水解氮含量下降; 根际土壤全钾、速效钾含量呈增加趋势; 全磷和速效磷含量从幼林至中龄林、近熟林逐渐减少, 至过熟林有所恢复, 但速效磷含量仍低于幼林期。表明木麻黄生长发育过程已出现地力减退的迹象, 这与当地群众扒走木麻黄林地凋落物, 养分不能及时回归林地有关^[5], 有必要及时施用 N、P 肥, 以满足林木生长的需要。各林龄木麻黄根际土壤 CEC 值、水解性总酸度、交换性盐基总量、交换性 Mg^{2+} 均大于非根际土壤; 幼龄林根际交换性 Ca^{2+} 低于非根际; 土壤 CEC 值在中龄林时最高。

不同年龄木麻黄林地根际土壤磷酸酶、过氧化物酶和多酚氧化酶活性均大于非根际土壤; 随着林木的生长, 根际和非根际土壤磷酸酶活性逐渐升高, 并且根际与非根际间的差异也呈增大趋势, 可能原因是在林木生长过程中磷素含量的降低刺激了根系和微生物分泌产生的磷酸酶^[11]; 根际过氧化物酶活性从幼龄林到中龄林下降, 随着林木生长至近熟林有所升高; 根际多酚氧化酶活性在过熟林阶段高于其它发育阶段。

参考文献:

- [1] 孙向阳主编. 土壤学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [2] 叶功富, 徐俊森, 潘惠忠, 等. 不同生育阶段木麻黄林地土壤肥力特性 [J]. 防护林科技, 1996(专刊): 45- 48.
- [3] 谭芳林, 李志真, 叶功富, 等. 木麻黄连栽对沿海沙地土壤养分含量及酶活性的影响 [J]. 林业科学, 2003, 39(增刊): 32- 37.
- [4] Kanpenjohann M. Mineral nutrition on root development in stands of *Casuarina equisetifolia* of differing rigour on coastal stands of the people's Republic of begin [J]. West Africa Potash Review, 1988(5): 5- 10.
- [5] 叶功富, 张水松, 等. 木麻黄主要类型防护林生长发育规律的研究 [J]. 防护林科技, 2000(专刊): 6- 14.
- [6] 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准 (LY/T 1210- 1275- 1999) [S]. 北京: 标准出版社, 2000.
- [7] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1996.
- [8] Lynch J M. The rhizosphere [M]. Chichester: Wiley, 1990.
- [9] 丁应祥, 梁珍海. 滨海土壤上杨树根际微区性状的研究 [J]. 南京林业大学学报, 1996, 20(2): 15- 19.
- [10] 张福锁主编. 土壤与植物营养研究动态 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992.
- [11] 陈竣, 李传涵. 杉木幼林根圈土壤磷酸酶活性、磷组分及其相互关系 [J]. 林业科学研究, 1997, 10(5): 458- 463.

上接第 85 页

参考文献:

- [1] 庄季屏主编. 土壤物理与农业持续发展 [M]. 科学出版社, 1995. 158- 164.
- [2] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management [J]. Geoderma, 2005, 124(1- 2): 3- 22.
- [3] Kaiser M, Ellerbrock R H. Functional characterization of soil organic matter fractions different in solubility originating from a long-term field experiment [J]. Geoderma, 2005, 127(2- 4): 196- 206.
- [4] 林葆, 林继雄, 李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化 [A]. 林葆等主编. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996. 1- 12.
- [5] 王慎强, 李欣, 徐富安, 等. 长期施用化肥与有机肥对潮土土壤物理性质的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(2): 77- 78.
- [6] 张玉革, 姜勇, 依艳丽, 等. 长期施肥对土壤水分特性影响的研究 [J]. 土壤, 1999(3): 120- 125.
- [7] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理室编. 土壤物理性质测定法 [M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [8] 王改兰, 段建南, 李旭霖. 长期施肥条件下土壤有机质变化特征研究 [J]. 土壤通报, 2003, 34(6): 589- 591.