

不同感病等级樟子松根际与非根际土壤性质对比研究

张学利, 杨树军, 张百习, 白雪峰

(辽宁省固沙造林研究所, 辽宁 阜新 123000)

摘要:对章古台不同感病等级樟子松根际土壤和非根际土壤进行了对比研究,结果表明:樟子松感病后,根际土壤的pH值随感病程度的加重而上升,有机质含量明显下降,CEC值有一定程度的提高,根际土壤中盐分的富集程度明显下降,全N、速效N、速效K的富集程度和速效P的亏缺程度明显下降;樟子松根际土壤微生物总数和酶的活性随感病等级的加重呈下降趋势,说明樟子松感病后,其根系的生物活性下降。

关键词:樟子松;感病等级;根际土壤;非根际土壤

中图分类号:S714 文献标识码:A

Research on Rhizosphere Soil Properties of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* with Different Infection Grades

ZHANG Xue-li, YANG Shu-jun, ZHANG Bai-xi, BAI Xue-feng

(Sand-fixation and Afforestation Institute of Liaoning Province, Fuxin 123000, Liaoning, China)

Abstract: The rhizosphere soil properties of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation with different infection grades were studied. The results showed that with exacerbating of disease, the pH value of rhizosphere soil increased and the content of organic matter decreased significantly. CEC values of rhizosphere soil were higher than those in non-rhizosphere soil and varied complicatedly. The extent of soluble salt accumulation decreased with exacerbating of disease. The accumulation extent of total N, available N, available K and the deficiency extent of available P of rhizosphere soil decreased significantly. The amount of microorganism and the activity of different kinds of enzymes of rhizosphere soil showed a trend of decrease.

Key words: *Pinus sylvestris* var. *mongolica*; infection grade; rhizosphere soil; non-rhizosphere soil

根际是由植物根—土壤—微生物—酶组成的一个特殊微生态系统,受根系生理活动的影响,在物理、化学和生物学特性上不同于原土体的特殊土壤微区^[1]。樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin.)是我国“三北”地区的主要造林树种。自1990年以来,樟子松固沙林感染枯梢病的程度日益加重,其病原菌为松球壳孢菌(*Sphaeropsis sapinea* (Fr) Dyko & Sutton),树木感病后其正常的生理活动必然发生变化,而这种变化会通过林木—土壤的相互作用对林下土壤,尤其是根际土壤的性质产生

影响,但目前有关这方面的研究尚未见报道。因此,本文对不同感病等级樟子松根际土壤的pH值、有机质含量、交换性能、养分含量、微生物组成和酶活性的变化进行了尝试性研究,以期探讨樟子松固沙林衰退对其林下土壤性质的影响,为合理调整林分结构提供依据。

1 试验地概况

试验地设在辽宁省彰武县章古台镇境内的辽宁省固沙造林研究所的试验示范林内,该林地位于

收稿日期:2005-02-16

基金项目:辽宁省科技攻关招标项目“辽西北荒漠化土地综合治理技术与示范”(2001207003)资助

作者简介:张学利(1970—),男,硕士,高级工程师,主要从事森林土壤和荒漠化治理研究。

122°22'E, 42°43'N, 海拔 238 m; 年降水量 450 ~ 500 mm, 年蒸发量 1 300 ~ 1 800 mm; 年平均气温 5.7 °C, ≥ 10 °C 年均积温为 2 800 ~ 3 200 °C。林下土壤类型为风沙土, 林下植被主要有中华隐子草 (*Cleistogenes chinensis* (Maxim.) Keng)、细叶胡枝子 (*Lespedeza juncea* var. *subsericea* Kom.)、展枝唐松草 (*Thalictrum squarrosum* Steph. ex Willd.) 和狗尾草 (*Setaria viridis* (L.) Beauv.) 等。

2 试验材料与方法

2001 年 7 月下旬选设地形较为平坦, 林龄分别为 33 a 和 37 a 的 2 块标准地, 面积均为 20 m × 20 m, 造林密度为 6 667 株 · hm⁻² (株行距 3 m × 0.5 m), 现保留密度为 1 000 株 · hm⁻² 左右, 林下植被盖度约 80%。在每块标准地内, 对樟子松的树高和胸径进行每木调查, 37 a 标准地树木平均胸径和树高分别为 25 cm 和 12.0 m, 33 a 标准地树木平均胸径和树高分别为 16 cm 和 10.5 m。在标准地内, 依据感病表现的不同将樟子松划分为 5 个不同感病等级: 未感病、I、II、III 和 IV。分级标准为: 未感病——健康树木; I 级——同年生针叶 1/4 以下受害; II 级——同年生针叶 1/2 以下受害; III 级——同年生针叶 3/4 以下受害; IV 级——同年生针叶 3/4 以上受害至因病枯死。从每组中选择标准木 2 ~ 3 株, 在树木周围多点挖取 0 ~ 50 cm 土层内的细根, 采用抖落法^[2]取根际土壤。取不沾附在根系上的土壤, 充分混合作为非根际土壤样品。

测定项目及测定方法见文献[3]。

3 结果与分析

3.1 土壤 pH 值

由于根系呼吸作用释放 CO₂ 以及在离子的主动吸收和根尖细胞伸长过程中分泌质子和有机酸, 一般会引起根际土壤 pH 值的下降, 如: 杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、火炬松 (*Pinus taeda* Linn.)、红松 (*P. koraiensis* Sieb. et Zucc.)、油松 (*P. tabulaeformis* Carr.)、华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii* Mayr)、华山松 (*Cedrus deodara* (Roxb.) Loud.)、锐齿栎 (*Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim.)、杨树 (*Populus* L.)、细柄阿丁枫 (*Altingia chinensis* (Champ.) Oliv. et Hance) 等^[3~9]。树木感病后, 其正常的生理活动必然会受到影 响, 并在其根际土壤的性质变化中表现出来。

从图 1 可以看出: 樟子松感病后, 随着感病等级的提高, 樟子松根际土壤的 pH 值逐渐升高, 而非根际土壤的 pH 值则无明显变化。分析结果表明: 樟子松根际土壤与非根际土壤的 pH 值比值与树木的感病等级呈正相关关系 ($y = 0.001 1x^2 + 0.008 1x + 0.914$, $R^2 = 0.958 1$, 式中: x 为感病等级, y 为 R/S 值, R 代表根际土壤, S 代表非根际土壤, 下同。), 即樟子松根际土壤与非根际土壤的 pH 值比值随感病等级的增加而增大, 逐渐趋近于 1。

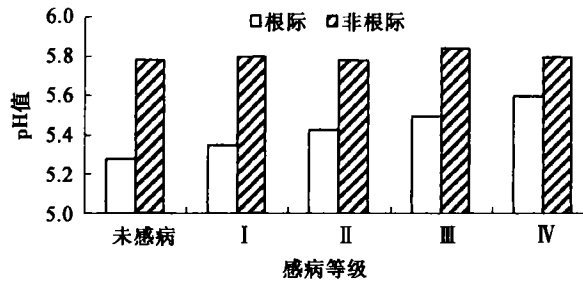


图 1 不同感病等级樟子松根际和非根际土壤 pH 值的变化

樟子松根际土壤 pH 值的变化说明, 随着感病程度的加深, 樟子松根系的活性逐渐下降, 对其周边环境的影响能力减弱, 根际土壤的 pH 值逐渐与非根际土壤接近。在未感病时, 根际土壤与非根际土壤相比其 pH 值下降了 8.65%, 而在感病后, 根际土壤的 pH 值下降的幅度明显减小。

3.2 土壤有机质含量

由于根际土壤承接了大量的根系分泌物及根表脱落物, 是微生物丰富的区域, 因而一般来说, 林木根际土壤比非根际土壤含有更多的有机物质^[10]。从图 2 可以看出: 樟子松感病后, 其根际土壤有机质含量明显下降, 由未感病的 10.8 g · kg⁻¹ 下降到感病后的 8.3 g · kg⁻¹ (4 个感病等级的平均值), 感病的樟子松根际土壤有机质含量平均下降了 23.1%; 非根际土壤有机质含量变化不明显。

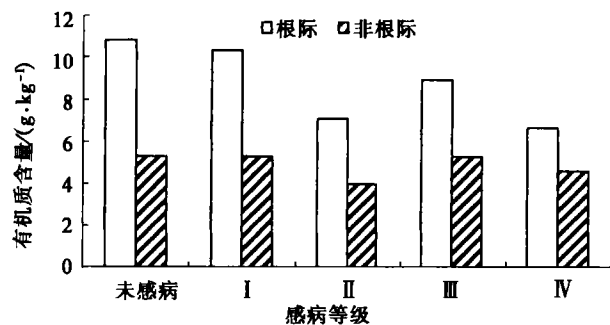


图 2 不同感病等级樟子松根际与非根际土壤有机质含量

樟子松根际土壤与非根际土壤有机质含量的比值与树木的感病等级呈负相关关系($y = -0.0171x^2 - 0.0746x + 2.0345$, $R^2 = 0.9864$),即樟子松林下土壤有机质含量的 R/S 值随着感病的加重而下降。根际土壤有机质含量的下降,与树木感病后地上部分光合作用减弱,运输到地下部分的有机质减少有关。同时也与其根系生理活动减弱,根系分泌物减少有关。非根际土壤有机质的积累主要依靠地表枯枝落叶的分解,所以其含量的变化受树木感病的影响较小。

3.3 土壤交换性能和全盐量

阳离子代换量(CEC)是表征土壤交换性能的重要指标。由表1看出:樟子松感病后根际土壤的阳离子代换量及其 R/S 值均高于感病前,但不同感病等级樟子松根际土壤 CEC 值及其 R/S 值的变化却无明显规律,这可能与樟子松感病后根际土壤的 pH 值和有机质含量的变化比较复杂有关。土壤阳离子代换量的大小受黏粒含量、有机质含量以及 pH 值状况等因素影响,樟子松感病后根际土壤 pH 值的上升可引起 CEC 值的上升,而有机质含量的下降又会引起 CEC 值的降低,即根际土壤 pH 值和有机质含量的变化对 CEC 的影响是两个相反的过程。

由表1还看出:土壤的全盐量(以电导率表示)则均为根际土壤的大于非根际土壤的。分析结果表明:樟子松根际土壤与非根际土壤的电导率比值与树木的感病等级呈正相关关系($y = -0.0029x^2 - 0.0826x + 1.4963$, $R^2 = 0.9905$),即随着树木感病程度的加重,可溶盐在根际积聚的程度逐渐降低。根际土壤中盐分的积累主要是由于土壤中的可溶盐

因树木蒸腾吸水而随着土壤水运动到根际周围,当土壤水分因蒸腾作用大量散失后,盐分积聚在根际周围,导致根际盐分含量升高。树木感病后,其蒸腾作用减弱,积聚在根际周围的盐分又在浓度梯度的作用下,扩散到非根际土壤中,引起根际土壤中盐分含量的下降;感病越严重,与非根际土壤相比根际土壤中盐分含量下降的越多。

表1 不同感病等级樟子松根际与非根际土壤的交换性能及全盐量

项目		感病等级				
		未感病	I	II	III	IV
CEC/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	R	7.00	9.30	7.75	9.35	8.00
	S	5.73	6.23	5.06	6.78	5.56
	R/S	1.22	1.50	1.53	1.38	1.44
电导率/ ($\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$)	R	33.30	35.60	29.98	38.85	32.40
	S	22.40	25.00	22.50	32.30	28.80
	R/S	1.49	1.42	1.33	1.20	1.13

3.4 土壤养分

土壤养分在自然环境中是一个复杂的变量,林分的生长状况与土壤养分动态变化有着密切的关系。由表2可知,不同感病等级的樟子松根际土壤的全 N 含量仍高于非根际土壤的,但其 R/S 值由未感病时的 1.706 下降为感病后的 1.354 (4 个感病等级的平均值),即全 N 的根际效应(R/S 值)随感病加重而下降;不同感病等级的樟子松根际土壤的全 P 含量也全部高于非根际土壤的,且其 R/S 值由未感病时的 1.109 上升为感病后的 1.460 (4 个感病等级的平均值);全 K 含量的变化不明显。

表2 不同感病等级樟子松根际和非根际土壤的养分含量变化

感病等级	全 N/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效 N/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全 P/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效 P/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全 K/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效 K/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	
未感病	R	0.500	28.661	0.153	2.859	21.230	63.031
	S	0.293	19.296	0.138	5.999	22.810	40.516
	R/S	1.706	1.485	1.109	0.477	0.931	1.556
I	R	0.458	19.933	0.142	4.067	21.550	37.233
	S	0.387	13.682	0.094	5.067	21.230	30.197
	R/S	1.183	1.457	1.511	0.803	1.015	1.233
II	R	0.406	20.051	0.134	5.129	20.600	38.015
	S	0.274	18.164	0.096	7.061	21.070	32.386
	R/S	1.482	1.104	1.396	0.726	0.978	1.174
III	R	0.476	23.354	0.251	4.405	22.020	50.523
	S	0.340	19.461	0.149	3.680	21.230	42.705
	R/S	1.400	1.200	1.685	1.197	1.037	1.183
IV	R	0.396	20.287	0.136	3.729	20.280	33.011
	S	0.293	19.579	0.109	3.825	20.130	28.634
	R/S	1.352	1.036	1.248	0.975	1.007	1.153

不同感病等级樟子松根际与非根际土壤速效养分的变化有如下规律:根际土壤的速效 N、速效 K 含量仍高于非根际土壤,但提高的幅度明显减少。未感病樟子松根际土壤的速效 N 含量比非根际土壤高 48.5%,而感病后其含量仅比非根际土壤的高 19.9%;未感病樟子松根际土壤的速效 K 含量比非根际土壤的高 55.6%,感病后其含量比非根际土壤的高 18.6%,即樟子松速效 N 和速效 K 在根际的富集程度随树木感病的加重而下降。感病后樟子松根际土壤速效 P 的亏缺程度明显下降,由未感病时亏缺 52.3%下降到感病后亏缺 7.8%,感病等级为 III 级的樟子松根际土壤的速效 P 含量已经高于非根际土壤的。

3.5 土壤微生物类群

微生物对森林生态系统的物质循环和能量转化起着重要作用,根际微生物比非根际微生物更能确切地反映微生物对土壤生物活性及林木生长的影响^[11]。

由表 3 可知,随着感病等级的提高,樟子松根际

土壤微生物总数呈下降趋势,非根际土壤微生物总数变化不明显。未感病樟子松根际土壤的微生物总数为 75.2 万个·g⁻¹土,而感病的樟子松根际土壤的微生物总数下降为 60.5 万个·g⁻¹土(均值)。从微生物的 R/S 值看,亦有随樟子松感病等级的提高而下降的趋势,说明樟子松感病后,其根系的生物活性有所下降,而非根际土壤中则没有表现出这种变化。

由表 3 还看出,随着樟子松感病等级的提高,根际土壤中细菌的数量逐步下降,而非根际土壤中细菌的数量变化不明显;根际土壤中细菌数量占微生物总数的百分比明显下降,非根际土壤中细菌所占比例无明显变化;在根际和非根际土壤中真菌的比例均有较大幅度的提高;在根际土壤中放线菌所占的比例有所上升,而非根际土壤中放线菌的比例却有所下降。分析结果表明:樟子松的健康状况对根际微生物的数量组成有较大影响,而对非根际土壤影响较小,即樟子松的感病对其根际微生物有不良影响。

表 3 不同感病等级樟子松根际和非根际土壤微生物数量

感病等级		细菌/	所占比例/	真菌/	所占比例/	放线菌/	所占比例/	总数/
		(万个·g ⁻¹ 土)	%	(万个·g ⁻¹ 土)	%	(万个·g ⁻¹ 土)	%	
未感病	R	58.7	78.06	6.0	7.98	10.5	13.96	75.2
	S	21.0	67.31	3.6	11.54	6.6	21.15	31.2
	R/S	2.80		1.67		1.59		2.41
I	R	45.5	71.32	5.8	9.09	12.5	19.59	63.8
	S	23.5	75.32	3.9	12.50	3.8	12.18	31.2
	R/S	1.94		1.49		3.29		2.04
II	R	47.5	73.08	6.8	10.46	10.7	16.46	65.0
	S	20.6	66.67	4.3	13.92	6.0	19.42	30.9
	R/S	2.31		1.58		1.78		2.10
III	R	37.5	68.31	9.6	17.49	7.8	14.21	54.9
	S	29.5	70.07	6.1	14.49	6.5	15.44	42.1
	R/S	1.27		1.57		1.20		1.30
IV	R	39.5	67.64	8.7	14.90	10.2	17.47	58.4
	S	25.7	69.46	6.5	17.57	4.8	12.97	37.0
	R/S	1.54		1.34		2.13		1.58

3.6 土壤酶活性

土壤酶在土壤物质循环和能量转化中起着重要作用,土壤酶活性是评价土壤肥力的重要指标之一^[12]。植物对土壤酶活性的影响,主要是通过根分泌物作用于根际微生物区系而起作用的。

不同感病等级樟子松根际土壤中各种酶的活性均高于非根际土壤的,这可能是由于根际土壤距根

系近,根系提供的微生物生活物质和能量丰富,微生物活性强,因而酶活性也强于非根际土壤^[13]。由表 4 可知,樟子松感病后,根际土壤中各种酶的活性均有一定程度的下降,而非根际土壤中酶活性的变化不明显。土壤脲酶的 R/S 值由未感病的 2.208 下降到 IV 级时的 1.716,过氧化氢酶的 R/S 值变化不明显,多酚氧化酶的 R/S 值由 2.877 下降到 IV 级时的

2.194, 酸性磷酸酶的 R/S 值在感病后下降幅度较小, 转化酶的 R/S 值由 2.133 下降到 IV 级时的 1.363, 下降幅度较大。樟子松感病后, 其根际土壤

中各种酶活性的下降可能与其根系分泌物的数量及组成的变化以及由此而引起的根际微生物总数的下降有关。

表 4 不同感病等级樟子松根际和非根际土壤酶活性变化

感病等级		脲酶/ ($\text{NH}_3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	过氧化氢酶/ ($0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KMnO}_4 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$)	多酚氧化酶/ (没食子酸 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	酸性磷酸酶/ ($\text{酚 mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	转化酶/ ($0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$)
未感病	R	1.700	6.450	0.210	0.400	2.240
	S	0.770	2.800	0.073	0.140	1.050
	R/S	2.208	2.304	2.877	2.857	2.133
I	R	1.650	6.100	0.185	0.380	2.100
	S	0.800	2.950	0.084	0.132	1.050
	R/S	2.063	2.068	2.202	2.879	2.000
II	R	1.580	6.040	0.173	0.360	2.030
	S	0.740	2.760	0.075	0.130	1.100
	R/S	2.135	2.188	2.307	2.769	1.845
III	R	1.330	5.780	0.154	0.310	1.860
	S	0.690	2.850	0.070	0.150	1.020
	R/S	1.928	2.028	2.200	2.067	1.824
IV	R	1.390	5.660	0.147	0.330	1.540
	S	0.810	2.700	0.067	0.136	1.130
	R/S	1.716	2.096	2.194	2.426	1.363

4 小结

樟子松感病后, 因其自身生理活动的变化对其林下发育的土壤尤其是根际土壤的性质产生了明显影响, 具体表现为: 樟子松感病后, 根际土壤的 pH 值随感病等级的提高而上升, 有机质含量明显下降, CEC 值虽均有一定程度的提高, 但变化比较复杂; 随着感病等级的提高, 根际土壤中盐分的富集程度明显下降; 根际土壤中全 N、速效 N 和速效 K 的富集程度明显下降, 速效 P 的亏缺程度也明显下降, 根际土壤中的各种养分含量逐渐与非根际土壤接近; 樟子松根际土壤微生物总数随感病等级的提高呈下降趋势, 非根际土壤微生物总数这一变化不明显; 根际土壤中各种酶的活性均有一定程度的下降, 说明樟子松感病后, 其根系的生物活性下降。

参考文献:

- [1] 杨玉盛, 何宗明, 邹双全, 等. 格氏栲天然林与人工林根际土壤微生物及其生化特性的研究[J]. 生态学报, 1998, 18(2): 20 ~ 23
- [2] 陈永亮, 韩士杰, 周玉梅, 等. 胡桃楸、落叶松纯林及其混交林根际土壤有效磷特性的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 790

~ 794

- [3] 张学利, 杨树军, 刘亚萍, 等. 章古台固沙林主要树种根际土壤性质研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 72 ~ 76
- [4] 蒋秋怡, 叶仲节, 钱新标, 等. 杉木根际土壤特性的研究[J]. 浙江林学院学报, 1991, 8(4): 450 ~ 456
- [5] 厉婉华. 栓皮栎、杉木和火炬松根际与非根际土壤氮素及 pH 值差异的研究[J]. 南京林业大学学报, 1996, 20(2): 49 ~ 52
- [6] 丁应祥, 王福升, 林寿明. 不同林龄 I-69 杨根际土离子浓度和养分状况[J]. 林业科学研究, 1998, 11(5): 461 ~ 468
- [7] 杨玉盛. 杉木细柄阿丁枫混交林根际土壤的研究[J]. 福建林学院学报, 1997, 17(1): 11 ~ 15
- [8] 包青, 郑晓光, 郑学良, 等. 白桦和红松根际土壤养分的林龄分布及季节动态[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(1): 56 ~ 59
- [9] 刘建军, 陈海滨, 田呈明, 等. 秦岭火地塘林区主要树种根际微生物生态系统土壤性状研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(3): 52 ~ 57
- [10] 徐秋芳, 马尾松根际土壤化学性质分析[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(2): 122 ~ 126
- [11] 焦如珍, 杨承栋. 不同代杉木人工林根际及非根际土壤微生物数量及种类的变化[J]. 林业科学研究, 1999, 12(1): 13 ~ 18
- [12] 盛炜彤, 杨玉盛, 范少辉. 杉木人工林的土壤性质变化[J]. 林业科学研究, 2003, 16(4): 377 ~ 385
- [13] 张其水, 俞新妥. 杉木连栽林地混交林土壤酶的分布特征的研究[J]. 福建林学院学报, 1989, 9(3): 256 ~ 262