

落叶松人工林施肥对土壤酶和微生物的影响*

陈立新

(东北林业大学森林资源与环境学院, 哈尔滨 150040)

【摘要】 以落叶松(*Larix gmelinii*)二代1年、一代14年和34年人工林为研究对象,对林地进行了不同施肥实验处理.结果表明,施肥能不同程度地促进或抑制土壤酶活性和土壤微生物数量,尤其是对根际土壤生理活性影响效果更为明显.相同处理对不同发育阶段土壤酶活性和土壤微生物数量的影响效果不同.二代1年生幼林地最佳施肥方案是处理9,其土壤过氧化氢酶活性、蛋白酶活性、多酚氧化酶活性、脲酶活性、蔗糖酶活性、微生物总量、细菌数量、放线菌数量和真菌数量分别比对照提高413.49%、22.10%、20.56%、220.00%、49.46%、238.88%、247.24%、106.70%和366.67%;一代34年生最佳施肥方案是处理5,根际与非根际土壤过氧化氢酶、蛋白酶、多酚氧化酶、脲酶和蔗糖酶活性、微生物总量、细菌数量、真菌数量分别比对照提高30.44%、16.91%、0.22%、43.06%、124.18%、119.92%、87.66%、17.57%、24.55%、77.01%、168.62%、251.85%、183.33%、250.0%、38.24%和128.57%;一代14年生幼龄林需要适量的氮肥和有机无机混合肥,较理想的施肥方案为处理2和处理9,处理2根际与非根际土壤过氧化氢酶活性、蛋白酶活性、脲酶活性分别比对照提高44.39%、94.83%、4.62%、13.98%、10.70%和129.76%.处理9根际与非根际土壤微生物总量、细菌数量、真菌数量分别比对照增加176.49%、266.63%、198.04%、275.56%、66.67%和143.75%.

关键词 落叶松人工林 施肥 酶活性 微生物数量

文章编号 1001-9332(2004)06-1000-05 **中图分类号** S714 **文献标识码** A

Effect of fertilization on soil enzymes and microbes in *Larix gmelinii* plantations. CHEN Lixin (Faculty of Forest Resources and Environment, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(6): 1000~1004.

One year-old second generation stand and 14 year-and 34 year-old first generation stands in larch plantations were studied at the Maoershan Mt. Experimental Forest Farm. The forestland of these three stands was treated with various fertilizations. The results showed that fertilization could promote or restrain soil enzyme activity and microbial amount with different degrees, and its effect on soil physiological activity was more apparent. The effect of the same fertilization treatments on soil enzyme activity and microbial amount was different at different development stages of the stands. For one year-old stand, the best fertilization scheme was treatment 9, its soil enzyme activities (catalase, proteinase, polyphenoloxidase, urease, and saccharase), total microbial amount, and amount of bacteria, actinomyces and fungus being increased by 413.49%, 22.10%, 20.56%, 220.00%, 49.46%, 238.88%, 247.24%, 106.70%, and 366.67%, respectively, as compared with the control. For 34 year-old stand, the best fertilization scheme was treatment 5, its soil enzyme activities (catalase, proteinase, polyphenoloxidase, urease, and saccharase), total microbial amount, and amount of bacteria and fungus was increased by 30.44%, 16.91%, 0.22%, 43.06%, 124.18%, 119.92%, 87.66%, and 17.57%, respectively in rhizosphere soil, and by 24.55%, 77.01%, 168.62%, 251.85%, 183.33%, 250.0%, 38.24% and 128.57%, respectively in non-rhizosphere soil. For 14 year-old young stand, it needed a proper amount of nitrogen fertilizer and organic-mineral fertilizers, and the better fertilization schemes were treatments 2 and 9. The soil enzyme activities (catalase, proteinase, and urease) in treatment 2 was increased by 44.39%, 94.83%, and 4.62%, respectively in rhizosphere soil, and by 13.98%, 10.70% and 129.76%, respectively in non-rhizosphere soil. Total soil microbial amount and the amount of bacteria and fungus in treatment 9 was increased by 176.49%, 266.63%, and 198.04%, respectively in rhizosphere soil, and by 275.56%, 66.67% and 143.75%, respectively in non-rhizosphere soil.

Key words *Larix gmelinii* plantation, Fertilization, Enzyme activity, Microbial amount.

1 引言

由于落叶松人工林群落结构单一、重茬、不合理经营以及树种自身的生物学特性等原因造成人工林地力下降^[4,5,8,9,12,14],严重影响了人工林的持续经营.近年来,人们相应地提出了许多调控措施,如营造针阔混交林、改善群落结构、避免或减少连栽、集

约经营等^[1~3,15,16].其中,通过科学施肥增加林地养分投入也是防止地力衰退的有效措施之一.施肥能够缩短林木的培育周期,达到优质速生丰产的培育目标,同时维持长期稳定的地力和养分动态平衡.

* 国家自然科学基金项目(30271070)、黑龙江省自然科学基金项目(C01-17)和哈尔滨市后备学科带头人基金资助项目(0071007014). 2003-03-07 收稿,2003-06-05 接受.

但目前落叶松人工林这方面的研究较少,而且主要集中在施肥效应及林木营养诊断等方面^[10],施肥对根际土壤生化活性影响的研究更少.土壤酶是土壤肥力的重要指标之一,对土壤中有有机物质的转化起重要作用^[6],土壤酶活性的高低可以反映土壤养分转化的强弱.为此,本文探讨了不同施肥处理对落叶松人工林不同发育阶段土壤酶和微生物活性的影响,从生化活性角度筛选出不同发育阶段理想的施肥配比组合,为防止落叶松人工林地力衰退和长期

维持林地生产力提供科学的理论依据.

2 研究地区与研究方法

2.1 供试土壤

白浆化暗棕壤采自东北林业大学帽儿山实验林场老山人工林生态站.林分和林地土壤基本养分情况见表 1.

2.2 实验设计与处理

采用随机排列方法,在林分内按坡下、坡中、坡上设置 3 个区进行重复施肥处理,在每个区内选设 10 个小区,每一个施肥处理选择 20 株树木进行施肥实验,小区之间设有保护

表 1 落叶松人工林不同年龄林分及林地施肥前土壤状况

Table 1 Stand and soil status of larch plantations before fertilization at different age stage

年龄 Age (yr.)	林分结构 Stand structure	密度 Density (plant·hm ⁻²)	土层 Soil layer (cm)	pH	有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)	全 N Total N (g·kg ⁻¹)	全 P Total P (g·kg ⁻¹)	水解 N Hydrolysable N (mg·kg ⁻¹)	有效 P Available P (mg·kg ⁻¹)
1 ^a	二代纯林 Pure plantation at second generation	3333	0~20	5.20	20.8	3.09	0.55	159.63	14.43
14 ^b	纯林 Pure plantation	2500	0~20	4.46	10.6	2.10	0.31	110.62	14.43
34 ^b	纯林+白桦+山杨 Pure plantation	1500	0~20	4.97	19.2	2.41	0.52	198.23	12.88

a: 二代林 Second-generation stand; b: 一代林 First-generation stand. 下同 The same below.

行.在每个小区内,选 3 株平均木,每一株平均木选 5 个点采集 0~20 cm 土层的非根际和根际(距根际 5 mm)土壤样品,分别混合,并立即测定土壤微生物数量以及土壤酶的活性.

施肥方法采用环状沟施,距树干 0.5~1.0 m,一次性全量施入.供试肥料为目前农林生产上常用的商业性肥料,氮肥为含氮量 46.3% 的尿素、磷肥为含氮量 18%、含磷 46% 的磷酸二铵,钾肥为含钾 60% 的氯化钾,有机肥(M)为含 N 0.9696%、含 P 1.09% 的草炭土.上述 4 种肥料按试验设计施肥量分别为施氮量:1)60 kg·hm⁻²(N₆₀);2)120 kg·hm⁻²(N₁₂₀),3)240 kg·hm⁻²(N₂₄₀);施磷量 4)60 kg·hm⁻²(P₆₀),5)120 kg·hm⁻²(P₁₂₀),6)240 kg·hm⁻²(P₂₄₀).施混合肥料氮肥量 7)200 kg·hm⁻²,磷肥量 120 kg·hm⁻²(N₂₀₀P₁₂₀),8)氮肥量 200 kg·hm⁻²,磷肥量 120 kg·hm⁻²,钾肥量 80 kg·hm⁻²(N₂₀₀P₁₂₀K₈₀),9)氮肥量 200 kg·hm⁻²,磷肥量 120 kg·hm⁻²,钾肥量 80 kg·hm⁻²,有机肥量(M)3 000 kg·hm⁻²(N₂₀₀P₁₂₀K₈₀M),将没有施肥的作为对照,用 CK 表示,共计 10 个施肥处理.

2.3 分析方法

过氧化氢酶活性运用注入土壤中的过氧化氢在反应后剩余量的方法进行测定(J. L. Johnson 和 K. L. Temple 法,1964 年);蛋白酶活性用明胶在磷酸盐缓冲液(pH=7.4)中水解生成甘氨酸的方法进行测定(Галсгян 和 Арутюнян,1968 年);多酚氧化酶运用邻苯三酚在多酚氧化酶作用下氧化成没食子素的量进行测定(А. III. Галсгян 法,1974 年);脲酶活性用脲素在柠檬酸缓冲液(pH=6.7)水解生成的方法进行测定(G. Hofmann 和 K. Teicher 法,1961 年);蔗糖酶活性用蔗糖在柠檬酸-磷酸(pH=5.5)缓冲液中水解生成的葡萄糖量进行测定(Hofmann 和 Seegerer 法,1951 年)^[6,13,17].细菌用牛肉汁蛋白胨琼脂培养基平板混菌法培养;真菌用马丁

氏琼脂培养基平板混菌法培养;放线菌用高氏 1 号琼脂培养基平板混菌法培养^[7,11].

3 结果与讨论

3.1 施肥对土壤酶活性的影响

由表 2 可以看出,施肥对落叶松人工林不同发育阶段土壤酶活性的影响不同.二代 1 年生幼林地,施肥效果有机无机混合肥料好于单施磷肥或氮肥以及氮、磷、钾无机混合肥,施磷肥的各处理又好于施氮肥和无机混合肥.其中,处理 9 为最佳,处理 5 其次,处理 6 再次之.处理 9 土壤过氧化氢酶活性、蛋白酶活性、多酚氧化酶活性、脲酶活性、蔗糖酶活性分别比对照提高 413.49%、22.10%、20.56%、220% 和 49.46%,处理 5 分别比对照提高 283.33%、10.64%、267.76%、182.86% 和 61.44%,处理 6 分别比对照提高 331.48%、46.77%、10.28%、265.71% 和 3.51%,表明长期经营落叶松人工纯林容易造成林地缺 P^[5,14],对二代幼林地适当地增施磷肥和有机无机混合肥是提高土壤养分的有效措施.

14 年生落叶松人工林施肥效果没有二代 1 年生幼林地和 34 年生落叶松人工林明显.各处理的施肥效果施氮肥好于有机无机混合肥料、磷肥以及 N、P、K 无机混合肥.其中,处理 2 为最佳,处理 9 其次,处理 6 再次之.处理 2 对根际土壤多酚氧化酶活性和非根际土壤蔗糖酶活性有抑制作用,分别比对照降低 4.12% 和 44.58%,根际与非根际土壤过氧化

表 2 施肥对落叶松人工林土壤酶活性的影响

Table 2 Effect of fertilization to soil enzyme activeness in larch plantations

年龄 Age (yr.)	编号 No.	处理水平 Treatment level	过氧化氢酶 Hydrogen peroxidase ($0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{KMnO}_4 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$)		蛋白酶 Proteinase (甘氨酸 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)		多酚氧化酶 Polyphenol oxidase (没食子素 $\text{mg} \cdot$ 100 g^{-1})		脲酶 Urease ($\text{NH}_3\text{-Nmg} \cdot$ 100 g^{-1})		蔗糖酶 Saccharase ($0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$)	
			A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
			1 ^a	1	N ₆₀	-	14.81	-	1.807	-	2.447	-
	2	N ₁₂₀	-	5.47	-	1.223	-	3.170	-	1.51	-	15.83
	3	N ₂₄₀	-	6.38	-	2.000	-	1.931	-	1.02	-	9.43
	4	P ₆₀	-	15.13	-	1.784	-	3.828	-	0.86	-	15.31
	5	P ₁₂₀	-	14.49	-	2.143	-	3.685	-	0.99	-	16.58
	6	P ₂₄₀	-	16.31	-	2.843	-	1.105	-	1.28	-	10.63
	7	N ₂₀₀ P ₁₂₀	-	3.85	-	2.037	-	0.796	-	0.82	-	11.13
	8	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀	-	6.47	-	1.011	-	3.582	-	1.05	-	13.27
	9	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀ M	-	19.41	-	2.365	-	1.208	-	1.12	-	15.35
	10	CK	-	3.78	-	1.937	-	1.002	-	0.35	-	10.27
14 ^b	1	N ₆₀	15.54	12.62	1.900	1.236	2.344	4.201	1.15	2.10	14.20	8.40
	2	N ₁₂₀	11.71	15.45	1.836	1.190	4.820	5.698	2.69	4.71	14.70	4.60
	3	N ₂₄₀	8.012	8.29	1.775	0.537	4.408	1.724	0.79	2.39	14.40	8.90
	4	P ₆₀	7.65	3.92	2.230	0.672	1.208	1.312	0.60	0.96	12.80	10.00
	5	P ₁₂₀	12.85	7.47	2.674	1.355	3.582	0.899	3.18	2.46	15.70	9.90
	6	P ₂₄₀	7.93	13.30	0.929	1.139	4.511	5.852	2.36	4.22	16.00	9.00
	7	N ₂₀₀ P ₁₂₀	9.57	9.48	0.899	0.537	3.582	1.208	1.22	0.43	15.30	7.30
	8	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀	11.85	7.06	1.331	0.896	5.130	5.440	3.23	3.08	15.70	10.70
	9	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀ M	14.17	13.21	1.434	1.711	2.963	3.995	2.39	2.82	15.40	7.90
	10	CK	8.11	7.93	1.755	1.044	5.027	2.344	2.43	2.05	11.70	8.30
34 ^b	1	N ₆₀	13.35	15.31	2.499	2.586	2.963	5.130	2.36	2.39	11.30	13.40
	2	N ₁₂₀	8.75	9.36	2.166	1.544	1.312	1.518	2.79	1.55	15.70	11.70
	3	N ₂₄₀	6.61	11.48	1.080	0.216	1.518	0.692	2.56	5.30	15.90	7.80
	4	P ₆₀	9.02	9.80	1.308	2.715	2.344	3.582	1.25	1.38	10.10	9.00
	5	P ₁₂₀	13.67	14.17	2.271	2.937	4.098	4.614	2.89	1.74	13.70	15.40
	6	P ₂₄₀	8.06	14.12	1.842	1.755	3.376	0.383	1.87	0.82	8.20	8.20
	7	N ₂₀₀ P ₁₂₀	10.93	13.67	0.517	2.003	2.550	1.724	0.99	3.18	10.10	10.40
	8	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀	4.28	10.25	2.756	2.032	1.105	0.899	1.74	2.20	11.70	15.90
	9	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀ M	9.29	12.76	1.822	2.896	4.614	4.182	2.98	3.28	16.30	21.20
	10	CK	10.48	12.12	2.266	2.053	1.828	2.098	1.54	1.48	11.00	8.70

A: 根际 Rhizosphere; B: 非根际 Non-rhizosphere. 下同 The same below.

氢酶活性、蛋白酶活性、脲酶活性分别比对照提高 44.39%、94.83%、4.62%、13.98%、10.70% 和 129.76%。处理 9 对根际土壤蛋白酶活性、多酚氧化酶活性、脲酶活性和非根际土壤蔗糖酶活性有抑制作用,分别比对照降低 18.29%、41.06%、1.65% 和 4.82%,对非根际土壤蛋白酶活性、多酚氧化酶活性、脲酶活性有促进作用,分别比对照提高 63.89%、70.44% 和 37.56%,根际与非根际土壤过氧化氢酶活性分别比对照提高 74.72% 和 66.58%,说明施入的有机肥料可以增加有机质,同时增加了酶的底物,同时此阶段是林木生长的速生期,林木需要大量的营养元素尤其是氮元素,因此,应及时向林地施入一定量的氮肥或有机、无机混合肥料,以满足林木生长的需要,从而达到促进林木生长的目的。

34 年生落叶松人工林,施磷肥的各处理均好于施氮肥和有机无机混合肥料以及无机混合肥。其中,处理 5 为最佳,处理 1 其次,处理 9 再次之。处理 5 和处理 1 土壤 5 种酶活性均比对照提高。处理 5 根际与非根际土壤过氧化氢酶、蛋白酶、多酚氧化酶、

脲酶和蔗糖酶活性分别比对照提高 30.44%、16.91%、0.22%、43.06%、124.18%、119.92%、87.66%、17.57%、24.55% 和 77.01%,其中以多酚氧化酶活性提高最为明显。处理 1 分别提高 27.39%、26.32%、10.28%、25.96%、62.09%、144.52%、53.25%、61.49%、2.73% 和 54.02%。

综上所述,施肥对落叶松不同年龄阶段 5 种土壤酶活性有明显的影响,但相同处理对不同年龄阶段土壤酶活性的影响效果不同,二代 1 年生幼林地和 34 年生落叶松人工林施肥效果好于 14 年生。34 年生落叶松人工林处理 1、处理 5 和处理 9 较理想,14 年生幼龄林以处理 2、处理 6 和处理 9 较理想,二代 1 年生幼林地,处理 9 为最佳,处理 5 其次、处理 6 再次之。

3.2 施肥对土壤微生物活性的影响

由表 3 可以看出,二代 1 年生幼林地,各施肥处理土壤微生物总量、细菌数量和真菌数量均比对照提高。其中,处理 9 为最佳,处理 9 土壤微生物总量、细菌数量、放线菌数量和真菌数量分别比对照提高

表 3 施肥对落叶松人工林土壤微生物的影响

Table 3 Effect of fertilization to soil microbe in larch plantations ($\times 10^4$ ind. \cdot g $^{-1}$ soil)

年龄 Age (yr.)	编号 No.	处理水平 Treatment level	微生物总量 Total amount of microbe		细菌 Bacteria		放线菌 Actinomycetes		真菌 Fungi	
			A	B	A	B	A	B	A	B
1 ^a	1	N ₆₀	-	1485.32	-	1456	-	24.2	-	5.12
	2	N ₁₂₀	-	1333.44	-	1287	-	33	-	11.8
	3	N ₂₄₀	-	996.10	-	951.3	-	42.9	-	3.54
	4	P ₆₀	-	662.70	-	602.3	-	56.2	-	4.2
	5	P ₁₂₀	-	1060.07	-	987	-	69.4	-	3.67
	6	P ₂₄₀	-	1192.80	-	1109	-	78	-	5.8
	7	N ₂₀₀ P ₁₂₀	-	887.90	-	856.2	-	24.6	-	7.1
	8	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀	-	1064.00	-	1020	-	36	-	8
	9	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀ M	-	1909.60	-	1823	-	74	-	12.6
	10	CK	-	563.50	-	525	-	35.8	-	2.7
14 ^b	1	N ₆₀	783.65	1345.8	760	1300	23.3	42.5	0.35	3.3
	2	N ₁₂₀	1029.22	1177.0	1002	1150	26.8	24.6	0.42	2.44
	3	N ₂₄₀	1454.2	1028.3	1420	987	31.4	32.8	2.8	8.5
	4	P ₆₀	444.00	1431	420	1400	14.2	16.8	9.8	4.2
	5	P ₁₂₀	661.8	196.2	630	188	19.8	6.8	12	1.4
	6	P ₂₄₀	609.6	612.69	580	580	22.1	32	7.5	0.69
	7	N ₂₀₀ P ₁₂₀	536.6	780.3	520	746	16	28.5	0.6	5.8
	8	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀	692.58	1190.6	680	1148	12	38.9	0.58	3.7
	9	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀ M	1529.51	1701.9	1520	1690	9.2	4.1	0.3	7.8
	10	CK	553.18	464.2	510	450	43	11	0.18	3.2
34 ^b	1	N ₆₀	787.52	707.98	780	702	7.2	5.7	0.32	0.28
	2	N ₁₂₀	1155.5	490.16	1140	460	15.1	30	0.4	0.16
	3	N ₂₄₀	832.6	239.16	800	213	29.6	24	3	2.16
	4	P ₆₀	1304.1	337.1	1270	320	32	12.2	2.1	4.9
	5	P ₁₂₀	1714.9	1153.7	1700	1120	10.2	30.5	4.7	3.2
	6	P ₂₄₀	1565	1011.6	1530	1080	31	26.4	4	5.2
	7	N ₂₀₀ P ₁₂₀	477.56	265.3	460	260	17	1.8	0.56	3.5
	8	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀	811.54	279.6	800	250	11	26.6	0.54	3
	9	N ₂₀₀ P ₁₂₀ K ₈₀ M	961.25	798.3	930	770	29.8	24.3	1.45	4
	10	CK	638.4	327.9	600	320	35	6.5	3.4	1.4

238.88%、247.24%、106.70%和366.67%。微生物总量和细菌数量随施氮肥量的增加而减少,与土壤酶的活性相一致。这表明施用一定量的氮肥可以增加土壤中细菌的数量,而过多的氮肥有可能抑制细菌数量的增加^[18]。微生物总量、细菌和放线菌数量随施磷肥量的增加而增加,与土壤蛋白酶和脲酶施肥效应相一致。这一结果表明,大量的磷肥可以促进微生物的活性,提高微生物的数量,促进腐殖质的分解。同时也证明二代幼林地由于连栽造成林地缺P。

14年生落叶松人工林施肥后当年各处理土壤微生物总量、细菌数量均得到提高,其中以处理9为最佳,根际与非根际土壤放线菌受到抑制,其数量分别比对照减少78.60%和62.73%。而根际与非根际土壤微生物总量、细菌数量、真菌数量受到促进,其数量分别比对照增加176.49%、266.63%、198.04%、275.56%、66.67%和143.75%。处理3为其次,根际与非根际土壤微生物总量、细菌数量、真菌数量分别比对照提高162.88%、121.52%、178.43%、119.33%、1455.56%和165.63%,根际土壤放线菌受到抑制,其数量比对照减少26.98%。因此,从促进土壤微生物数量来看,有机肥与无机混

合肥和大量的氮肥,能促进土壤微生物的活动,加快其繁殖速度,对于提高土壤肥力有明显的作用。而施磷肥效果不明显。

34年生落叶松近熟林,施肥与未施肥土壤的微生物总量、细菌数量均是根际大于非根际。施肥后各处理根际土壤微生物总量和细菌数量比对照增加较多,非根际土壤增加较少,放线菌和真菌是非根际大于根际。从施肥结果来看,施磷酸二铵的3个处理(处理4、5、和6)均比单施氮肥和混合肥效果好,其中以处理5效果最佳。处理5根际与非根际土壤微生物总量、细菌数量、真菌数量分别比对照提高168.62%、251.85%、183.33%、250.0%、38.24%和128.57%,根际土壤放线菌受到抑制,其数量比对照减少70.86%,而非根际土壤放线菌数量提高369.23%。这是因为落叶松人工林进入近熟林以后,林木对土壤磷的吸收增强,林地土壤缺P现象明显,成为林木生长的限制因子^[1,2,5],因此,此阶段要在林地适当施一定量的磷肥,补充林地土壤P的消耗,促进林地土壤微生物的繁殖,从而提高林地土壤肥力,以满足林木的需要,达到落叶松人工林持续经

营的目的。

4 结 论

4.1 施肥对落叶松人工林不同发育阶段 5 种土壤酶活性有明显的影响,但相同的处理对不同发育阶段土壤酶活性的影响效果不同。对于二代 1 年生幼林地,有机无机混合肥料的施肥效果要好于单施磷肥或氮肥以及无机混合肥,施磷肥的各处理又好于施氮肥和无机混合肥。其中,处理 9 为最佳,处理 5 其次,处理 6 再次之。14 年生幼龄林需要适当的氮肥或有机无机混合肥,以处理 2 效果最好,处理 9 其次。34 年生近熟林需要适当的氮肥或磷肥,但过量施氮肥或磷肥会造成毒害作用,较佳的施肥方案是处理 5,处理 1 其次。

4.2 施肥能改善土壤微环境,提高土壤微生物数量。从土壤微生物活性来看,对于二代 1 年生幼林地,各施肥处理的土壤微生物总量、细菌数量和真菌数量均比对照提高。其中处理 9 为最佳,土壤微生物总量、细菌数量、放线菌数量和真菌数量分别比对照提高 238.88%、247.24%、106.70% 和 366.67%。14 年生幼龄林需要大量的氮肥,其中以有机肥与无机混合施肥即处理 9 效果为最佳,处理 3 为其次,施磷肥效果不明显。处理 9 根际与非根际土壤微生物总量、细菌数量、真菌数量分别比对照增加 176.49%、266.63%、198.04%、275.56%、66.67% 和 143.75%。对于 34 年生近熟林,施磷肥的 3 个处理(处理 4、5 和 6)均比单施氮肥和混合肥效果好,其中以处理 5 效果最佳,根际与非根际土壤微生物总量、细菌数量、真菌数量分别比对照提高 168.62%、251.85%、183.33%、250.0%、38.24% 和 128.57%。

参考文献

- 1 Chen L-X(陈立新), Chen X-W(陈祥伟), Duan W-B(段文标). 1998. Larch litter and soil fertility. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 9(6): 581~586(in Chinese)
- 2 Chen L-X(陈立新), Chen X-W(陈祥伟), Shi G-X(史桂香). 1998. Study on improving forestland quality of larch plantation. *J Northeast For Univ*(东北林业大学学报), 26(1): 6~11(in Chinese)

- 3 Chen YL, Han SJ, Shi XM. 2001. Nutrient characteristics in rhizosphere of pure and mixed plantations of Manchurian walnut and Dahurian larch. *J For Res*, 12(1): 18~20
- 4 Akai Qguna(赤井童男), Asada Fushio(浅田节夫). 1962. Study on bad forestland of larch plantations at the second generation (the eighth report). *Congress Reports Japan Soc For*(日林讲集), 72: 145~148(in Japanese)
- 5 Gao Y-X(高雅贤). 1983. Study on soil water and fertility dynamics in larch plantations. *For Sci Tech*(林业科技), (2): 9~13(in Chinese)
- 6 Guan S-Y(关松荫), et al. 1986. Soil Enzyme and Its Research Method. Beijing: Agriculture Press. (in Chinese)
- 7 Microbe Section of Nanjing Soil Institute of CAS. 1985. Research Method About Soil Microbe. Beijing: Agriculture Press. (in Chinese)
- 8 Asada Fushio(浅田节夫). 1981. Silviculture on Larch Plantations. Tokyo: Agro-forestry Publication Company. 162~168 (in Japanese)
- 9 Sun C-L(孙翠玲), Guo Y-W(郭玉文), Guo Q-S(郭泉水). 1997. The change of nutrient contents and its effect on forest growth on the soil degraded by successive crop of Japanese larch. *For Res*(林业科学研究), 10(3): 321~324(in Chinese)
- 10 Wei M-R(卫茂荣), Zhang X-H(张新华), Xu A-J(徐爱军). 1994. Seedling nutrition diagnosis of Japanese larch by integrated method of fertilization diagnosis. *Chin J Soil Sci*(土壤通报), 25(5): 227~229(in Chinese)
- 11 Xu G-H(许光辉). 1986. Handbook of Analysis Method About Soil Microbe. Beijing: Agriculture Press. (in Chinese)
- 12 Yan D-R(阎德仁), Wang J-Y(王晶莹), Yang M-R(杨茂仁). 1997. Tendency of soil degradation in the pure larch plantations. *Chin J Ecol*(生态学杂志), 16(2): 62~66(in Chinese)
- 13 Yan X-S(严昶升). 1988. Soil Fertility and Its Research Method. Beijing: Agricultural Press. (in Chinese)
- 14 Zhang H-L(张慧亮), Gao Y-X(高雅贤), Xiang H-H(向黄怀). 1987. Soil fertility status in larch plantations. In: Forestry Research Institute, Academy of Forestry of Heilongjiang Province, eds. Proceedings of Science and Technology of Forest Management. Beijing: China Forestry Press. 144~147(in Chinese)
- 15 Zhang Y-D(张彦东), Yu X-J(于兴君), Yang W-H(杨文化). 1997. Nutrient characteristics in forestland and rhizosphere of mixed plantations of Manchurian walnut and Dahurian larch. In: Shen G-F(沈国舫), Zhai M-P(翟明普), eds. Mixed Plantation Research. Beijing: China Forestry Press. 145~149(in Chinese)
- 16 Zhang Y-D(张彦东), Wang Z-Q(王政权), Wang J(王晶). 1997. Soil enzyme activeness of pure and mixed plantations of Manchurian walnut and Dahurian larch. In: Shen G-F(沈国舫), Zhai M-P(翟明普), eds. Mixed Plantation Research. Beijing: China Forestry Press. 141~144 (in Chinese)
- 17 Zhou L-K(周礼恺) ed. 1987. Soil Enzymology. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 18 Zhou X-M(邹晓明). 1992. Effect of tree biogeochemistry on soil fertility. In: Liu J-G(刘建国) ed. Great Ecology Theory at Present Generation. Beijing: China Science and Technology Press. 65~72 (in Chinese)

作者简介 陈立新,女,博士,副教授,主要从事森林土壤学、林地营养管理以及生理生化活性的研究,发表论文 20 余篇。Tel:0451-82137532;E-mail:lxchen88@hotmail.com