

杉木连栽土壤微生物及生化特性的研究^{*}

杨玉盛 邱仁辉 俞新妥

(福建林学院, 南平 353001)

黄宝龙

(南京林业大学, 南京 210037)

摘要 通过对杂木林、一代、二代及三代杉木人工林的土壤微生物、土壤酶活性及生化作用强度研究表明:随着杉木林取代杂木林及杉木连续栽植代数的增加,土壤微生物总数下降、各主要生理类群数量均呈下降趋势,土壤酶活性减弱,土壤生化作用强度降低。土壤微生物学活性降低是杉木连栽后土壤肥力衰退重要原因之一。

关键词 杉木,连栽,土壤微生物,土壤酶活性,杂木林

Study on soil microbes and biochemical activity in the continuous plantations of *Cunninghamia lanceolata*/YANG Yu-Sheng¹⁾, QIU Ren-Hui¹⁾, YU Xin-Tuo¹⁾, Huang Bao-Long²⁾

Abstract Soil microbes, soil enzyme activity and soil biochemical action intensity in the stands of the broad-leaf forest and *Cunninghamia lanceolata* stand of the first, the second, the third planting were studied comparatively. The results indicated that, through the substitution of *Cunninghamia lanceolata* plantation (the first planting) for broad-leaf forest and then the continuously planting *Cunninghamia lanceolata*, the total quantity of major soil microbes declined, of which the first rotation of *Cunninghamia lanceolata* was decreased by 59.88% in the top soil (0~20 cm) compared with that of the broadleaved forest, and that of the second and the third rotation was of 14.68%, 16.51% respectively compared with that of the first rotation. The proportion of bacteria and fungi in the amount microbes increased, while that of actinomyces decreased. The amount of major physiological group including ammonifiers, nitrogenfixing bacteria, cellulosedecomposing microbes, aerobic nitrogen fixing bacteria and anaerobic nitrogen fixing bacteria all decreased. The activity of soil enzyme weakened which include invertase, urease, proteinase, acid phosphatase, catalase and peroxidase. Soil biochemical action activity impaired which include ammonification, nitrification, nitrogen fixation, and decomposition of cellulose. As to the soil respiration, the release amounts of CO₂ decreased, while the RQ value increased. All of which may led to the degradation of the soil fertility.

Key words *Cunninghamia lanceolata*, Continuous planting, soil microbes, soil enzyme activity

Author's address 1) Fujian Forestry College, Nanping, Fujian, 353001

2) Nanjing Forestry University, Nanjing, 210037

我国南方林区经营杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林的历史在2000年以上,解放初期许多学者就注意到杉木林地力衰退问题,随着杉木林栽植范围不断扩大及连栽面积和代数不断增加,杉木人工林地力衰退问题愈来愈引起人们的关注,国内许多学者对此开展有关的研究^[1-5]。但由于杉木轮伐期较长(30年左右),目前多采用以空间换时间方法研究其地力变化,而该方法的重要前提是不同空间即现有的一代、二代和三代杉木林前身的常绿阔叶林立地条件(包括母岩)相对一致,只有这样,研究结果的差异才能对从杉木不同经营代数的差异中得到解释,而严格符合该方法使用前提的标准地是较少的,已报道有关杉木连栽的树龄大多在

20 年以下,而且一代、二代、三代的杉木林标准地邻近分布更是少见,从而使研究结果有一定局限性^[1-3]。在广泛访问有关人员,并作必要的外业调查后,位于杉木中心产区福建省南平市王台镇溪后村的同一流域内,土壤母岩和一些相对稳定的指标(全 Ca、全 Mg、全 Fe、全 Cu)相近,树龄接近(28~30 年生),邻近分布(微域气候条件一致)的一代、二代和三代杉木林,被确定为进一步研究的试验地。本课题组从不同栽杉代数的杉木生长特性、生产力、土壤肥力、营元素生物循环、根际土壤特性等角度进行深入研究,试图揭示中心产区不同栽杉代数地力衰退特征,从而为可持续经营南方山地资源提供理论指导。本文为研究结果的一部分。

1 试验地自然概况

试验地位于福建省南平市王台镇溪后村同一小流域内的安曹下(E 117°57'、N 26°28')和邓窠。本区属中亚热带季风气候,平均气温 19.3 °C,年均降雨量 1969 mm,降雨多集中在 3~8 月,年均蒸发量 1143 mm,年均相对湿度为 83%。试验地土壤均为燕山晚期白云母化中细粒花岗岩发育的红壤,土壤厚度在 100 cm 以上,土壤表层疏松,但均含有一定量的石砾,质地为砾质轻壤土,试验地海拔高度在 200 m 左右。

杂木林主要是以栲树(*Castanopsis fargesii*)、木荷(*Schima superma*)、马尾松(*Pinus massoniana*)等为主的天然松杂混交林,沿山脊分布于安曹下杉木丰产林上部,其宽度约 10~15 m,林下植被主要有栲树、绒楠(*Machilus vilutina*)和芒萁(*Dicranopteris dichot*)等。

一代杉木林(简称一代)与安曹下杉木丰产林毗邻,1966 年在杂木林采伐迹地上用 1 年生实生杉木苗营造。调查时林龄为 30 年,林相整齐,郁闭度大(0.85),保留密度 1845 株/hm²,林分平均树高为 22.10 m,平均胸径 20.18 cm,林分蓄积量为 648.8 m³/hm²,林下植被总盖度 15% 左右。

二代杉木林(简称二代)与一代杉木林毗邻,于 1967 年在一代杉木林(35 年生)采伐迹地上用实生杉木苗营造,同时不规则保留某些生长健壮的一代树桩萌芽条,组成实生和萌芽共有的林分。调查时林龄为 29 年,林相较为整齐,郁闭度较大(0.85),保留密度为 2005 株/hm²,林分平均树高 17.51 m,平均胸径 18.16 cm,林分蓄积量为 500.7 m³/hm²,林下植被盖度 20% 左右。

三代杉木林(简称三代)位于溪后邓窠,距一代和二代林约 800 m 左右,于 1968 年在二代杉木林(33 年生)采伐迹地上用实生苗造林,同时在幼林抚育时保留一些生长健壮树桩萌芽条组成实生和萌芽共有的林分,调查时林龄为 29 年,林相较为破碎,郁闭度 0.65 左右,杉木保留密度 2084 株/hm²,林分平均树高 16.44 m,平均胸径 17.75 cm,林分蓄积量为 346.6 m³/hm²,林下植被盖度 90% 左右。

2 研究方法

从 1995 年至 1996 年分别在不同季节,在上述相应标准地上,分层(0~20cm、20~40cm)取土样,相一致取样点的土样混合后带回室内,进行以下分析,表 1~3 中数据均为多次分析结果平均值。

2.1 土壤微生物^[6]

土壤细菌、真菌、放线菌、氨化细菌——平板法,硝化细菌——稀释法,纤维素分解菌、好气性固 N 菌——表面涂沫法,厌气性固 N 菌——焦性没食子酸法。

2.2 土壤酶活性^[7-9]

转化酶活性——G. Hoffman 与 A. Seeger 法(1951),脲酶——改进扩散法(NH_3 mg/g),蛋白酶——G. Hoffman 与 K. Teicher 法(1957),酸性磷酸酶活性——G. Hoffman(1967),接触酶——滴定法,过氧化物酶——A. Шгаисгя. 法(1974)。

2.3 土壤生化作用强度^[6-8]

土壤氨化作用强度——土壤培养法,硝化作用强度——溶液培养法,固 N 作用强度——土壤培养法,纤维素分解作用强度——埋布片法,用 Warburg 呼吸器分别测定呼吸作用过程中土壤释放二氧化碳和吸收氧气的量。

3 结果与分析

表 1 不同代数杉木林土壤微生物数量 / $\times 10^3$ 个 · (g 干土)⁻¹

Table 1 Soil microbes number under different *Cunninghamia lanceolata* rotations / $\times 10^3 \cdot \text{g}^{-1}$

林分类型 (1)	土层厚度 (2)	细菌 (3)	真菌 (4)	放线菌 (5)	总数 (6)	氨化细菌 (7)	硝化细菌 (8)	纤维素 分解菌 (9)	好气性 固 N 菌 (10)	厌气性 固 N 菌 (11)
杂木林	0~20	15248.8	279.1	18.2	15582.1	7933.3	1.18	62.7	1.82	4.91
Broad-leaf forest	20~40	6820.4	186.7	11.2	7018.3	3953.3	0.75	22.1	0.60	2.02
一代	0~20	5944.0	185.8	121.5	6251.3	3085.3	0.80	38.1	0.81	4.27
The first rotation	20~40	3892.0	153.4	80.5	4125.9	1606.7	0.48	10.8	0.44	1.58
二代	0~20	5086.0	164.6	120.4	5371.0	2884.6	0.66	30.6	0.60	4.02
The second rotation	20~40	3683.0	138.6	82.5	3907.1	1425.3	0.40	8.8	0.46	1.40
三代	0~20	4936.0	160.8	122.6	5219.4	2648.8	0.62	28.8	0.50	3.86
The third rotation	20~40	3028.0	129.4	86.4	3243.8	1038.6	0.38	8.6	0.40	1.00

(1)Forest type, (2)Soil depth, (3)Bacteria, (4)Fungi, (5)Actinomyces, (6)Total, (7)Ammonifiers, (8)Nitrogenfixing bacteris, (9)Cellulose-decomposing microbes, (10)Aerobic nitrogen fixing bacteria, (11)Anaerobic nitrogen fixing bacteria

3.1 杉木林不同代数的土壤微生物

森林土壤微生物在枯枝落叶分解、腐殖质合成、土壤养分循环、物质和能量的代谢过程中,起着十分重要的作用,土壤微生物的数量分布,不仅是土壤中有有机养分、无机养分以及土壤通气透水性能的反应,而且亦是土壤中生物活性的具体体现^[10-12]。

3.1.1 土壤微生物区系

分析结果(表 1)表明,不同代数杉木林的土壤细菌、真菌、放线菌的数量有明显差异,与杂木林相比,一代杉木林表层土壤微生物总数下降 59.88%,其中土壤细菌、真菌数量分别下降 61.02%、33.41%,而土壤放线菌数量却比杂木林的有明显增加(杉木林土壤放线菌的数量是杂木林的 6.68 倍),这可能与杉木林凋落物含有较多木质化纤维成分,从而刺激了参与难分解物质转化的放线菌数量增加有关^[12-14]。

从表 1 中还可可见,杂木林表层土壤细菌、真菌和放线菌数量分别占微生物总数 97.86%、1.79% 和 0.35%,说明土壤细菌在杂木林凋落物分解过程起重要作用,而一代杉木林表层土壤细菌、真菌和放线菌分别占土壤微生物总数的 95.08%、2.97% 和 1.94%,说明杉木林土壤真菌和放线菌占微生物总数的比例有明显的增加,显示出它们在参与难分解针叶转化中的作用。

与一代杉木林相比,二代和三代杉木林表层土壤微生物总数分别下降 14.68% 和 16.51%,其中表层土壤细菌数量分别下降 14.43% 和 16.96%,表层土壤真菌数量分别下降 11.41% 和 13.41%,而土壤放线菌的数量却较接近,随杉木连栽,土壤放线菌占微生物总数由一代的 1.14% 上升到三代的 2.35%。底层土壤亦有此趋势,但变化幅度比表层低。说明从杉木林取代杂木林及随杉木连栽,土壤中易分解物质数量减少,土壤细菌和真菌数量及其所占比例下降;由于土壤中难分解物质积累量的增加,刺激参与难分解物质转化的土壤放线菌数量及其比例增大。

3.1.2 土壤微生物主要生理类群

森林土壤微生物各主要生理类群直接参与土壤中 C、N 等营养元素循环和能量流动,其数量和活性直接关系到土壤肥力高低^[11]。分析结果(表 1)表明,从杉木林取代杂木林及随着杉木连栽,土壤微生物中各主要生理类群数量均呈下降的趋势。与杂木林的相比,一代杉木林表层土壤氨化细菌、硝化细菌数量分别下降 61.11% 和 32.20%;与一代的相比,二代和三代杉木林表层土壤氨化细菌数量分别下降 6.51% 和 14.15%,表层土壤硝化细菌数量则分别下降 17.50% 和 22.50%,底层土壤亦有类似的规律。土壤中氨化细菌和硝化细菌直接参与分解土壤中有机关 N,杉木林取代杂木林及随杉木连栽后土壤中这两类土壤微生物数量减少,降低了土壤的供 N 能力。

土壤中自生固 N 作用是森林土壤氮素重要来源之一^[10]。从表 1 可见,不同林分中土壤固氮菌均以厌气性自生固 N 菌为主。与杂木林相比,一代杉木林表层土壤厌气性和好气性固 N 菌数量分别下降 13.03% 和 55.49%。与一代的相比,二代和三代杉木林表层土壤厌气性固 N 菌数量分别下降 5.85% 和 9.60%,好气性固 N 菌数量亦分别下降 25.93% 和 38.27%,底层土壤有类似趋势。土壤中自生固 N 菌数量下降,与土壤 pH 值随连栽代数增加而降低有关。

纤维素是组成针叶树凋落物的主要成分,纤维素分解菌积极参与植物残体中纤维素的分解^[11-13]。一代杉木林表层土壤纤维素分解菌数量与杂木林相比下降 39.23%,二代和三代杉木林表层土壤纤维素分解菌,与一代杉木林相比则分别下降 19.69% 和 24.41%(表 1)。连栽后土壤纤维素分解菌数量降低,直接影响到植物残体转化速度,使土壤中难分解植物残体的积累量增加。

由以上分析可见,随着杉木林取代杂木林及随杉木连栽代数的增加,皆伐、火烧及整地、抚育等森林经营措施的反复采用,使森林生态系统积累的大量养分通过挥发、流(淋)失等而损失,土壤中腐殖质数量减少、其品质下降,土壤中易分解物质(特别是 C、N 等)的贮量亦减少,参与 C、N 转化的氨化细菌、硝化细菌数量明显降低;土壤 pH 降低,直接导致固 N 菌数量减少,纤维素分解菌数量降低,使土壤中积累了大量的难分解的植物残体。因此,随杉木连栽代数的增加,土壤生态环境变得愈来愈不利于有益微生物的繁殖和活动,从而大大削弱了土壤中 C、N 营养元素循环速率和能量流动。

3.2 土壤酶活性

土壤酶积极参与有机物质的分解和转化过程,通过对不同栽杉代数土壤酶活性的研究有助于分析连栽后土壤肥力演变^[7,8,14]。

3.2.1 土壤水解性酶活性

分析结果(表 2)表明,杂木林土壤转化酶、脲酶、蛋白酶活性均比一代杉木林的高,其中表层土壤转化酶活性是一代杉木林的 3.99 倍。与一代的相比,二代和三代杉木林表层土壤转化酶活性分别下降 25.30% 和 27.71%,表层土壤脲酶活性分别下降 10.87% 和 14.79%,表层土

壤蛋白酶活性分别下降 14.65% 和 19.86% ,底层土壤亦有此规律。土壤中转化酶直接参与土壤 C 素循环,而土壤脲酶和蛋白酶则直接参与土壤中含 N 有机化合物的转化,其活性强度常用来表征土壤 N 素供应程度^[14]。杉木连栽后,以上 3 种土壤酶活性降低,削弱了土壤中 C 和 N 素营养循环。

土壤酸性磷酸酶促作用能加速土壤有机磷的脱磷速度,从而提高磷的有效性,在花岗岩发育的红壤磷特别缺乏的情况下,这种作用尤为明显^[14]。分析结果(表 2)表明,与杂木林相比,一代杉木林表层土壤酸性磷酸酶活性下降 27.08% ;与一代杉木林相比,二代和三代杉木林表层土壤酸性磷酸酶活性分别下降 13.59% 和 16.79% ,杉木多代连栽后土壤酸性磷酸酶活性下降,削弱了土壤供磷能力。

表 2 不同代数杉木林土壤酶活性

Table 2 Soil enzyme activity under different *Cunninghamia lanceolata* rotations

林分类型 Forest type	土层 Depth (cm)	土壤酶活性 Soil enzyme activities					
		转化酶 Invertase (0.1N Na ₂ S ₂ O ₃ , ml)	脲酶 Urease (NH ₃ , mg/g)	蛋白酶 Proteinase (mg/100g)	酸性磷酸酶 Acid phosphatase pheno(mg/100g)	接触酶 Catalase (0.1N KMnO ₄ , ml/g)	过氧化物酶 Perxidase (mg/g)
杂木林	0~20	6.63	5.627	42.675	1.625	92.0	35.381
Broad-leaf forest	20~40	5.30	2.642	30.765	0.980	60.0	28.305
一代	0~20	1.66	3.828	38.216	1.185	52.0	29.438
The first rotation	20~40	0.72	2.535	27.231	0.735	32.0	16.340
二代	0~20	1.24	3.412	32.617	1.024	48.0	27.168
The second rotation	20~40	0.66	2.122	24.785	0.674	30.0	15.438
三代	0~20	1.20	3.262	30.626	0.986	43.0	26.384
The third rotation	20~40	0.68	2.120	23.876	0.567	30.0	16.401

3.2.2 土壤氧化还原酶活性

分析结果(表 2)表明,杉木林取代杂木林后,土壤接触酶和过氧化物酶活性均明显下降,其中杂木林表层土壤接触酶活性是一代杉木林的 1.77 倍;与一代杉木林相比,二代和三代杉木林表层土壤接触酶活性分别下降 7.69% 和 17.31% ,表层土壤过氧化物酶活性分别下降 7.71% 和 10.34% 。

从以上分析可见,杉木林取代杂木林及随杉木连栽代数的增加,土壤中有机残体分解速度及腐殖质再合成能力均有明显的下降,这与酶促作用底物浓度降低有关,因为随杉木连栽,土壤有机质和腐殖质数量减少,土壤腐殖质品质下降,土壤中粘粒含量和土壤酸度降低,土壤微生物数量减少,这些变化均导致土壤酶活性减弱。

3.3 土壤生化作用强度

土壤氨化、硝化、固 N 及纤维素分解作用的强度是在各主要生理类群直接参与下进行的,而土壤中呼吸作用则主要是由土壤微生物、植物根系和动物生命活动组成,一般可以把土壤中 O₂ 的吸收和 CO₂ 释放量即呼吸作用强度作为土壤微生物活性的总的指标^[11]。

分析结果(表 3)表明,杉木林取代杂木林后,土壤生化作用强度明显下降,其中表层土壤氨化作用、硝化作用、固 N 作用和纤维素分解强度分别下降 37.25%、28.57%、46.39% 和 36.

61% ,土壤 CO₂ 释放量下降 18.16% ,而土壤中呼吸商 RQ 值却上升。与一代杉木林相比 ,二代和三代杉木林表层土壤氨化作用强度分别下降 13.54% 和 25.29% ,硝化作用强度分别下降 24.85% 和 29.70% ,固 N 作用强度分别下降 16.10% 和 22.85% ,纤维素分解作用强度分别下降 11.29% 和 12.68% ,CO₂ 释放量分别下降 14.97% 和 21.61% ,而 RQ 值却有所上升(表 3) ,

表 3 不同代数杉木林土壤生化作用强度

Table 3 Soil biochemical intensity under different *Cunninghamia lanceolata* rotations

林分类型 Forest type	土层 Soil depth (cm)	土壤生化作用强度 Soil biochemical intensity				呼吸作用强度 Respiration		
		氨化作用 Ammonification (g · kg ⁻¹)	硝化作用 Nitrification (g · kg ⁻¹)	固 N 作用 Nitrogen fixation (g · kg ⁻¹)	纤维素分解作用 Decomposition of cellulose (g · kg ⁻¹)	CO ₂ μl · (4g dry soil h) ⁻¹	O ₂	RQ
杂木林 Broad-leaf forest	0 ~ 20	0.612	0.231	0.498	10.782	4.6938	4.3538	1.07
	20 ~ 40	0.272	0.048	0.162	5.630	1.4235	1.2813	1.11
一代 The first rotation	0 ~ 20	0.384	0.165	0.267	6.835	3.8416	3.3881	1.12
	20 ~ 40	0.160	0.030	0.098	5.600	0.8018	0.6028	1.33
二代 The second rotation	0 ~ 20	0.332	0.124	0.224	6.063	3.2664	2.7681	1.18
	20 ~ 40	0.144	0.030	0.068	5.004	0.6632	0.4806	1.38
三代 The third rotation	0 ~ 20	0.298	0.116	0.206	5.968	3.0114	2.5095	1.20
	20 ~ 40	0.140	0.038	0.069	4.832	0.6028	0.4337	1.39

表明从杉木林取代杂木林起及随着杉木连续栽植代数增加 ,土壤生化作用强度明显下降 ,削弱了土壤中有效性养分供应强度 ,直接导致杉木生长量的下降。

4 小结

从杉木林取代杂木林(一代杉木林)及随着杉木连栽代数的增加(二代、三代) ,土壤微生物总数下降 ,主要微生物类群(优势类群)所占比例亦有一定变化 ,土壤微生物各主要生理类群数量明显减少 ,土壤酶活性减弱 ,土壤生化作用强度降低。由此可见 ,土壤微生物活性下降是杉木连栽后土壤肥力衰退重要标志之一 ,亦是导致杉木生长量下降重要因素之一。

参 考 文 献

- 1 方奇. 杉木连栽对土壤肥力及其林木生长的影响. 林业科学, 1987, 23(4): 389 ~ 397
- 2 俞新妥, 张其水. 杉木连栽林地土壤生化特性及土壤肥力的研究. 福建林学院学报, 1989, 9(3): 256 ~ 262
- 3 陈楚莹. 改善杉木人工林的林地质量和提高生产力的研究. 应用生态学报, 1990, 1(2): 97 ~ 106
- 4 盛炜彤. 我国人工林地力衰退及防治对策. 见: 盛炜彤主编, 人工林地力衰退研究, 北京: 中国科学技术出版社, 1992, 15 ~ 19
- 5 张宪武等. 杉木连栽与土壤中毒. 杉木人工林生态系统研究论文集, 1980, 142 ~ 148
- 6 许光辉编. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986
- 7 哈兹耶夫(苏)著. 土壤酶活性(郑洪元等译). 北京: 科学出版社, 1980
- 8 郑洪元, 陈德生著. 土壤动态生物化学研究法. 北京: 科学出版社, 1982
- 9 严昶升著. 土壤肥力研究方法. 北京: 农业出版社, 1988
- 10 M 亚历山大(美)著. 土壤微生物学报导论(广西农学院农业微生物教研组译). 北京: 科学出版社, 1983
- 11 许光辉, 周崇莲等. 长白山北坡自然保护区森林土壤微生物生态分布及其生化特性的研究. 生态学报, 1984, 4(3): 207 ~ 222

- 12 杨玉盛,何宗明,俞新妥等. 南平溪后杉木林取代杂木林后土壤肥力变化的研究. 植物生态学报, 1994, **18**(3): 236 ~ 242
- 13 杨玉盛,杨伦增,俞新妥等. 杉木林取代杂木林后土壤微生物季节变化的研究. 福建林学院学报, 1996, **16**(1) 9 ~ 13
- 14 杨玉盛,何宗明,俞新妥等. 杉木林取代阔叶林后土壤微生物学活性变化的研究. 应用与环境生物学报, 1997, **3**(4) 313 ~ 318
- 15 Prasad P. A comparative account of the microbiological characteristics of soils under natural forest, grassland and cropfield from Eastern India. *Plant and Soil*. 1995, **175**(1): 85 ~ 91