

亚热带常绿阔叶林迹地不同森林经营类型对土壤肥力的影响^①

郭玉文 聂道平 王兵

(中国林业科学研究院森林生态环境研究所, 北京 100091)

陈仲庐

(中国林业科学研究院亚热带林业研究中心, 分宜 336600)

摘要 常绿阔叶林迹地经营不同人工林类型使土壤容重增加了 $0.06\sim 0.31\text{g/cm}^3$, 土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度分别降低了 $4.59\sim 7.21$ 百分点、 $3.95\sim 10.98$ 百分点、 $11.54\sim 16.32$ 百分点。6种森林类型土壤腐殖质、全N、全P含量均为A层高于B层, 其中土壤腐殖质、全N平均含量顺序为: 木荷与杉木混交>鹅掌楸与杉木混交>常绿阔叶林>杉木>鹅掌楸>马尾松。土壤腐殖质与土壤全N、总酚含量之间, 全N与总酚含量之间相关系数分别为 0.990 、 0.892 、 0.883 , 达极显著相关。6种森林类型中除马尾松林地土壤腐殖质 $\text{HA/FA}<1$ 外, 其余5种森林土壤均为 $\text{HA/FA}>1$ 。木荷与杉木混交、鹅掌楸与杉木混交林土壤肥力明显好于单一树种栽培, 而且有效地抑制了土壤多酚氧化酶活性。

关键词 常绿阔叶林 森林经营类型 土壤肥力 腐殖质

森林作为地球面积最大、结构与功能最复杂的陆地生态系统的主体, 在不同气候条件和自然地理环境下长期处于协调进化的动态之中。森林是地圈和生物圈有关过程的重要参与者, 既是近地表大气层物质循环和能量转换的“汇”和“源”, 又是大气-土壤-植物系统物质能量转化的通道^[1], 在生物地球化学过程中发挥着十分特殊的作用。一方面森林从土壤中吸收大量营养元素以维持生长需要, 另一方面又以枯落物形式归还土壤养分。由于人类生产生活对木材需求的不断增加, 亚热带常绿阔叶林面积大量减少, 人工林面积越来越大, 不同人工林类型的生产力、生态效益及稳定性受气候条件、土壤肥力、人工林经济效益等多种因素的综合影响。随着亚热带地区常绿阔叶林迹地杉木人工林面积的不断增大, 杉木连栽产生的地力退化现象十分严重^[2~4]。因此, 研究常绿阔叶林迹地不同经营类型对土壤肥力所产生的影响, 对于适地适树、维持土壤长期稳定的生产力具有十分重要的意义。

① 林业部重点“江西大岗山杉木毛竹人工林生态定位研究”和林业部重点实验室—森林生态环境实验室基金资助项目。

收稿日期 1997-11-07

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于中国林科院亚热带林业实验中心(江西省省分宜县境内)年珠林场,东经114° 33' 47" ,北纬27° 34' ,为罗霄山脉北端武功山支脉。属亚热带季风湿润气候区,年平均温度16.8℃,年积温5355℃,年降水量1590mm,年蒸发量1503.8mm,太阳总辐射 $8.106\times 10^7\text{w/m}^2$,年平均相对湿度80%,无霜期270天。土壤类型为山地红壤和红黄壤。

该地区地带性植被群落类型为中亚热带次生常绿阔叶林,主要建群种有丝栗栲[C. fargesii Franch. .],钩栲[C. tibetana Hance.],樟树[Cinnamomum camphora(L.)presl.],甜槠[C. eyrei(Champ. ex Benth.)Tutch]等。在常绿阔叶林迹地上营造的不同人工林类型分别为杉木[Cunninghamia lanceolata(Lamb.)Moritz.],马尾松[Pinusmassoniana Lamb.],鹅掌楸[Liriodendron chinense(Hemsl.)Sarg.],鹅掌楸与杉木混交(5鹅+5杉)、木荷[Schima superba Gardn. et Champ.]与杉木混交(5木+5杉),其中杉木、马尾松为1992年造林,鹅掌楸、鹅掌楸与杉木混交、木荷与杉木混交1993年造林。

1.2 试验方法

1997年5月在常绿阔叶林和以上5种人工林林地设标准地(20m×20m),在标准地内以蛇形取样法按土壤发生学层次采集混合土壤样品,采样部位为坡中下部。

土壤理化性质分析方法如下:土壤腐殖质用重铬酸钾容量法、全N用凯氏法、土壤全P 用硫酸-高氯酸消煮钼锑抗比色法、水解N用碱解-扩散法、有效P用HCl-H₂SO₄浸提-钼锑抗比色法、速效K用NH₄OAC浸提-火焰光度计法^[6]、胡敏酸、富里酸用土壤腐殖质组成测定方法^[6]、总酚用硫酸水解福林比色法、游离酚用水提后4-氨基安替代福林比色法^[7]、多酚氧化酶用碘量滴定法^[8]、容重用环刀法^[5]。

2 结果与分析

2.1 不同森林经营类型土壤孔隙状况

土壤是森林植被着生的物质基础,土壤孔隙状况直接影响土壤水气协调、水肥的有效性 & 根系穿插的难易。从表1可知,6种森林经营类型林地土壤容重A层小于B层,而毛管孔隙度

表 1 6种森林类型土壤孔隙状况
Table 1 Soil porosity status of six kinds of forest type

森林经营类型 Forest management type	土层厚度 Soil depth (cm)	容重 Bulk density (g/cm ³)	非毛管孔隙度 Uncapillary porosity (%)	毛管孔隙度 Capillary porosity (%)	总孔隙度 Total porosity (%)
常绿阔叶林	A 0~8.9	0.79	14.93	61.62	76.55
	B 8.9~35	0.94	21.06	49.99	71.05
鹅掌楸+杉木	A 0~5.0	0.86	10.01	55.46	65.47
	B 5~50	0.99	18.08	46.96	65.04
木荷+杉木	A 0~9.2	0.94	11.98	52.92	64.90
	B 9.2~57.2	1.19	11.13	48.26	59.39
鹅 掌 楸	A 0~5.6	1.15	5.00	52.51	57.51
	B 5.6~87	1.20	9.02	48.43	57.45
马 尾 松	A 0~11	1.14	11.97	53.65	65.62
	B 11~51	1.18	14.96	43.54	58.50
杉 木	A 0~5.2	0.88	12.98	52.98	65.96
	B 5.2~106	1.13	10.02	46.52	56.54

和总孔隙度均为A层大于B层,非毛管孔隙度没有明显规律。天然常绿阔叶林、鹅掌楸与杉木混交林土壤容重平均分别为 0.87 g/cm^3 和 0.93 g/cm^3 ,总孔隙度平均分别为73.80%和65.26%,说明这两种类型林地上体结构较疏松,通气透水性好。除鹅掌楸土壤A层和B层非毛管孔隙度和总孔隙度较低,分别为5.00%、9.02%和57.5%、57.45%外,另外3种森林类型土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度较为接近。与常绿阔叶林相比,5种人工林经营类型林地土壤容重平均增加了 $0.06\sim 0.31\text{ g/cm}^3$,毛管孔隙度、非毛管孔隙度及总孔隙度平均值降低绝对量分别为4.59~7.21百分点、3.95~10.98百分点、11.54~16.32百分点。

2.2 不同森林经营类型对土壤养分的影响

不同森林经营类型因其枯落物的数量、特征等差异直接影响到林下土壤养分状况。据许利群^[9]等研究,中亚热带常绿阔叶林年均枯落物量为 7409.93 kg/hm^2 ,枯落物中N、P、K含量为14.19、0.74、4.36g/kg,每年大约可归还土壤N、P、K分别为105.14、5.48、32.3kg/hm²。鹅掌楸、木荷、马尾松虽然林龄较短,但每年仍有一定量的枯落物归还土壤。枯落物在分解转化为腐殖质的过程中,一方面营养元素处于释放、转化动态中,另一方面在该过程所产生的酚、酸类物质也在影响着土壤中的微生物和酶的活性,从而影响着土壤化学性质的变化。

从表2可以看出,不同森林经营类型土壤腐殖质、全N、全P含量均为A层高于B层。6种森林经营类型土壤腐殖质、全N平均含量顺序为:木荷与杉木混交>鹅掌楸与杉木混交>常绿阔叶林>杉木>鹅掌楸>马尾松;土壤全P含量A层和B层之间、不同森林经营类型之间差异较小。土壤有效P、速效K含量A层明显高于B层,尤其以马尾松、杉木A层速效K含量最为显著,分别高达125.2mg/kg和105.2mg/kg,土壤速效N没有明显变化规律。不同经营类型土壤C/N变化范围为10.36~12.55,差异不明显。

表 2 不同森林经营类型土壤化学性质
Table 2 Chemical properties of soil under different forest management types

森林经营类型 Forest management type	土层 Soil horizon	pH	腐殖质 Humus (g/kg)	全N Total N (g/kg)	全P Total P (g/kg)	速效N Avai. N (mg/kg)	有效P Avai. P (mg/kg)	速效K Avai. K (mg/kg)	C/N	游离酚 Free phenol (mg/kg)	总酚 Total phenol (mg/kg)	多酚氧化酶 (mL/g) Polyphenol oxidase
常绿阔叶林	A	4.55	39.5	2.05	0.59	23.9	8.16	77.6	11.17	0.115	79.4	0.658
	B	4.65	17.7	0.96	0.58	18.6	3.00	42.0	10.69	0.100	49.3	0.762
鹅掌楸+杉木	A	4.55	38.6	1.93	0.63	21.6	5.30	92.1	11.60	0.203	69.3	0.846
	B	4.60	27.0	1.29	0.58	25.6	0.44	50.1	12.14	0.187	63.0	0.980
木荷+杉木	A	4.95	42.1	2.14	0.65	25.2	1.90	81.1	11.41	0.117	78.0	0.620
	B	5.05	24.4	1.18	0.61	23.1	1.00	47.1	11.99	0.095	44.7	0.602
鹅掌楸	A	4.65	37.4	1.91	0.62	25.8	6.51	105.2	11.36	0.093	58.4	0.846
	B	4.65	15.4	0.86	0.58	25.5	1.65	42.6	10.39	0.067	23.7	0.752
马尾松	A	4.35	33.4	1.87	0.68	23.3	7.70	125.2	10.36	0.113	60.2	0.356
	B	4.60	16.6	0.89	0.67	20.5	4.50	79.4	10.82	0.103	18.3	0.178
杉木	A	4.55	37.9	1.89	0.61	24.2	2.70	54.0	11.63	0.134	63.9	1.280
	B	4.70	18.9	0.92	0.57	24.5	0.50	28.7	12.55	0.063	22.8	0.620

据长期观察,杉木林一般10林龄内很少有枯落物归还土壤,杉木纯林比常绿阔叶林土壤腐殖质、全N等养分含量下降,但是速效N含量增加,可以认为是因为常绿阔叶林内潮湿环境不利于土壤N素矿化分解,而常绿阔叶林迹地造林整地及杉木林内通风透光条件明显好于常绿阔叶林,从而促进土壤N素转化,不利于N素积累。通过杉木与木荷、鹅掌楸混交,即使是仅4年林龄的条件下,由于后两者枯落物归还,仍有效地补充了林木生长所消耗的营养,维持了林地土壤肥力,有效地提高了林地自养能力。据杜国坚等^[13]研究报道:杉木与鹅掌楸混交林、杉木与木荷混交林土壤微生物总量分别比杉木纯林高41.31%和32.45%。土壤脲酶、转化酶活性提高14%~20%。这说明合理的人工林经营不仅不会造成林地地力退化,而且可能由于枯落物的变化及其转化过程中产生的某些中间产物促进了土壤微生物、酶活性的变化,造林整地在一定程度上也改善了土壤结构,使人工林经营朝着可持续发展的方向转变。

马尾松林地土壤pH A层为4.35,低于其它5种林型;木荷与杉木混交林地土壤A、B层pH分别为4.95和5.05,为各森林类型中最高;另外几种林型土壤pH变化相差无几。从土壤pH的变化来看,木荷与杉木混交林土壤pH高于常绿阔叶林,马尾松林地土壤pH 低于常绿阔叶林,这是由于枯落物特征不同,还是因为根系分泌物等方面的差异,有关这两方面尚需进一步研究。

不同森林类型土壤总酚和游离酚含量A层高于B层,土壤总酚平均含量依次为:鹅掌楸与杉木混交林>常绿阔叶林>木荷与杉木混交林>杉木>鹅掌楸>马尾松;土壤游离酚平均含量顺序为:鹅掌楸与杉木混交林>马尾松>常绿阔叶林>木荷与杉木混交林>杉木>鹅掌楸。森林土壤中一切复杂的生物化学过程都是在酶参与下进行的,多酚氧化酶作为表征土壤腐殖化程度的一种专性酶,在6种不同森林经营类型中以杉木土壤A层最高,杉木混交林和杉木纯林土壤多酚氧化酶平均含量顺序为:杉木>鹅掌楸与杉木混交林>木荷与杉木混交林,这表明两种混交林抑制了土壤多酚氧化酶的活性。

对不同森林经营类型土壤化学性质进行相关分析,结果表明:土壤腐殖质与土壤全N、总酚含量之间、土壤全N与总酚含量之间R值分别为0.990、0.892、0.883,达极显著相关($R_{0.01} = 0.684$),这进一步说明酚类物质作为土壤腐殖质形成过程的中间产物,土壤中总酚含量与腐殖质、全N含量密切相关,是土壤肥力的重要物质基础。总酚与游离酚之间 $R = 0.614$,呈显著相关关系($R_{0.05} = 0.553$)。

2.3 不同森林经营类型土壤腐殖质组成特性

土壤腐殖质由腐殖酸和胡敏素组成,土壤腐殖酸包括胡敏酸和富里酸。对于常绿阔叶林来说,腐殖酸A层胡敏酸占优势,可占有机C总量的22.31%,B层以富里酸居多,无论是胡敏酸还是富里酸,B层占有机C的比例均高于A层。在有机C含量较为相近的情况下,杉木林土壤A、B层的胡敏酸和富里酸含量明显高于鹅掌楸;杉木、鹅掌楸的胡敏酸和富里酸占有机C的百分比均为A层低于B层,但胡敏酸的含量却相反。鹅掌楸和杉木混交、木荷与杉木混交林地土壤A层的胡敏酸含量及占有机C的百分比低于B层,而富里酸和胡敏素的含量及占有机C的百分比为A层大于B层。马尾松林地土壤胡敏酸、富里酸和胡敏素的含量均为A层高于B层,A层、B层富里酸含量分别占有机C的42.47%和31.15%,远高于常绿阔叶林迹地其它几种森林经营类型。除马尾松外,另外5种森林类型A层土壤腐殖质中胡敏素含量均高于

60%。6种森林类型土壤胡敏酸平均含量依次为:木荷与杉木混交林>杉木>常绿阔叶林>鹅掌楸>鹅掌楸与杉木混交林>马尾松,富里酸平均含量顺序为:马尾松>常绿阔叶林>木荷与杉木混交林>鹅掌楸与杉木混交林>杉木>鹅掌楸,胡敏素平均含量顺序为:鹅掌楸与杉木混交林>木荷与杉木混交林>鹅掌楸>常绿阔叶林>杉木>马尾松。

6种森林经营类型中常绿阔叶林、杉木、鹅掌楸、马褂木与杉木混交林、木荷与杉木混交林土壤腐殖酸以芳构化程度高的胡敏酸为主,而马尾松则以缩合度小的富里酸为主。6种森林经营类型土壤腐殖酸含量与富里酸含量呈极显著相关, $R = 0.888 (R_{0.01} = 0.684)$,如果仅就5种人工林类型而言,则 $R = 0.916$,这表明在人工林培育过程中,土壤腐殖酸的变化更多地依赖于富里酸的变化,土壤腐殖酸含量与胡敏酸含量没有表现出明显的相关关系。

常绿阔叶林林地土壤HA/FA为A层高于B层,而其它5种森林类型的HA/FA均为A层低于B层。常绿阔叶林林地土壤HA/FA A层大于1而B层小于1;鹅掌楸与杉木混交与此相反。6种森林经营类型除马尾松林土壤HA/FA平均值小于1外,其余几种森林土壤HA/FA平均值均大于1。

表 3 不同森林经营类型土壤腐殖质组成特性

Table 3 Characteristics of humus formation of soil under different forest management types

森林经营类型 Forest management type		有机C Organic carbon (g/kg)	腐殖质组成(含量(g/kg)/占有机碳%) Humus formation(content/humus-organic carbon ratio)			HA/FA
			胡敏酸(HA) Humic acid	富里酸(FA) Fulvic acid	胡敏素 Humin a	
常绿阔叶林	A层	22.9	5.11/22.31	2.88/12.57	14.91/65.12	1.77
	B层	10.3	2.89/28.06	3.70/35.92	3.71/36.02	0.78
鹅掌楸+杉木	A层	22.4	3.04/13.57	3.92/17.50	15.44/68.93	0.78
	B层	15.7	3.95/25.16	1.59/10.12	10.16/64.72	2.48
木荷+杉木	A层	24.4	4.80/19.67	4.42/18.11	15.18/62.22	1.09
	B层	14.2	5.53/38.94	1.14/8.02	7.53/53.04	4.85
马 尾 松	A层	19.4	3.70/19.07	8.24/42.47	7.46/38.46	0.46
	B层	9.6	2.60/27.08	2.99/31.15	4.01/41.77	0.87
鹅 掌 秋	A层	21.7	3.90/17.97	1.70/7.83	16.10/74.20	2.29
	B层	8.9	3.89/43.71	1.14/29.31	3.87/26.98	3.41
杉 木	A层	21.9	4.56/20.82	3.42/15.62	13.92/63.56	1.33
	B层	9.8	4.87/49.69	1.79/18.26	3.14/32.05	2.72

土壤腐殖质是由胡敏酸、富里酸等组成的,这些组分都是高分子化合物,是腐殖质形成过程中缩合程度不同的产物。富里酸缩合度低而胡敏酸高,不同土壤中它们的比例不同,在改善土壤肥力特性上起着重要作用。因此,胡敏酸和富里酸的比例(HA/FA)作为土壤腐殖质体系复杂程度的标志,常常可以作为进一步说明土壤肥力的指标。常绿阔叶林迹地经营不同森林类型,由于不同林型枯枝落叶化学组成成分、含量、性质不同,造成土壤HA/FA的变

化,引起土壤腐殖质的结构发生变化,形成的腐殖质的量与质有很大的差异。众所周知,土壤腐殖质性质是受水热条件、光热条件和土壤条件等因素的综合制约,在年珠林场这个较小的地理区域范围内,在水热、光热条件基本相同、土壤条件相似的情况下,造成不同林下土壤腐殖质结构存在差异的主要原因可能是人工林类型的差异,即由于森林经营类型不同,森林枯落物特征和林木根系分泌物的差异所致。两种混交林林地土壤腐殖质明显高于单一人工林,鹅掌楸和杉木林地土壤腐殖质平均值高于马尾松,马尾松林地土壤腐殖质平均含量为5种人工林类型中最低,且 $HA/FA < 1$,这说明经营马尾松林可能不利于土壤腐殖化。土壤中酚类物质作为土壤腐殖化过程的中间产物,与土壤腐殖质组成特性可能存在某种联系。相关分析结果表明:6种森林类型土壤总酚含量与胡敏酸占有机C的百分比呈极显著负相关, $R = -0.805$ 。也就是说随着土壤腐殖化过程中胡敏酸占有机C比例的增加,土壤中酚类物质积累少,即促进了土壤中酚类物质转化为氢醌类,加速土壤熟化。这对于由于杉木连栽造成土壤多酚积累,引起杉木土壤中毒^[10,11]问题来说,如何提高土壤中胡敏酸占有机C的比例,也许是解决这一问题的关键,有关方面尚需进一步研究。

3 讨论

从目前的研究结果来看,与常绿阔叶林相比,常绿阔叶林迹地5种森林经营类型虽然不同程度地增加了土壤容重,降低了土壤孔隙度,但是鹅掌楸与杉木混交、木荷与杉木混交林地土壤孔隙状况仍较好,表现出良好的通透性。从土壤化学性质的变化来看,鹅掌楸、木荷与杉木混交林土壤腐殖质、全N含量变化幅度较小,木荷与杉木混交林二者含量甚至高于常绿阔叶林。两种混交林在林地土壤通透性、土壤养分等土壤肥力特征方面表现出明显优势。杉木单一树种栽培虽然土壤肥力状况不如混交林,但仍好于鹅掌楸和马尾松。6种森林经营类型除马尾松外,其余几种人工林土壤腐殖酸以胡敏酸为主, $HA/FA > 1$,有利于土壤熟化。土壤腐殖质、土壤全N、总酚含量之间呈极显著相关关系。

鹅掌楸为阔叶树种,其纯林枯落物高于鹅掌楸与杉木混交林,但是土壤肥力状况却不如混交林,这表明影响土壤肥力变化的因子不单纯是枯落物归还能力,可能由于混交林根系分泌物等的差异改变了森林根际土壤微域环境,造成土壤微生物、酶活性等方面的差异。朱守谦等^[10]认为单一树种由于组成树种生态位、生态习性、吸收特性等高度一致,造成系统的多样性低,反馈系统构成简化,而且结构简单的群落所造成的群落环境不利于促进微生物的活动,不利于枯落物的分解。从这个角度来看,出现上述现象也可能是因为混交林比单一树种林下土壤生物多样性丰富,有利于群落的稳定与发展所致。

参考文献

- 1 蒋有绪. 中国森林生态系统结构与功能规律研究. 中国林业出版社, 1996, 3~15.
- 2 盛炜彤. 人工林地力衰退研究. 中国科学技术出版社, 1992, 15~19.
- 3 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): 389~379.
- 4 杨承栋等. 杉木连栽土壤组成、结构、性质变化及其对林木生长的影响. 林业科学, 1996, 32(2): 175~181.
- 5 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 科学出版社, 1984.

- 6 中国科学院南京土壤所编. 土壤理化性质分析. 上海科学技术出版社, 1981.
- 7 许光辉、郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 农业出版社, 1986.
- 8 关松荫. 土壤酶及其研究法. 农业出版社, 1986.
- 9 许利群等. 中国森林生态系统结构与功能规律研究. 中国林业出版社, 1996, 129~132.
- 10 朱守谦、朱军. 人工林地力衰退研究. 中国科学技术出版社, 1992, 31~36.
- 11 余新妥、张其水. 人工林地力衰退研究. 中国科学技术出版社, 1992, 93~99.
- 12 杜国坚等. 杉木混交林土壤微生物及生化特征和肥力. 浙江林学院学报, 1995, 12(4): 347~352.

EFFECT OF DIFFERENT MANAGEMENT ON SOIL FERTILITY IN THE SLASH OF EVERGREEN BROADLEAVED FOREST IN SUBTROPIC

Guo Yuwen Nie Daoping Wang Bing

(The Research Institute of Forest Ecology and Environment, CAF, Beijing 100091)

Chen Zhonglu

(Sub-tropical Forestry Practice center, CAF, Fenyi 336600)

Abstract Different plantation management in the slash of evergreen broad-leaved forests results in the increase of soil volume weight $0.06 \sim 0.31 \text{ g/cm}^3$ and the decrease of soil capillary porosity $3.95\% \sim 10.98\%$, soil uncapillary $4.59\% \sim 7.21\%$ and soil total porosity $11.54\% \sim 16.32\%$. The content of humus, total nitrogen and total potassium of A horizon are higher than that of B horizon in the soil of six plantation types. The order of average content of humus and total nitrogen of soil is in schima-chinese fir mixed forest > in Chinese Tuliptree-chinese fir mixed forest > in evergreen broadleaved forest > in Chinese forest > in Chinese Tuliptree > in Masson pine. The correlation coefficient of soil humus and total nitrogen, soil humus and total phenol, total nitrogen and total phenol is 0.990, 0.829 and 0.883 respectively, showing close relationship. The ratio of humic acid and fulvic acid (HA/FA) of soil is less than 1 in Masson pine forest and more than 1 in the other five forest. Fertility of soil in schima-chinese fir mixed forest and Chinese Tuliptree-Chinese fir mixed forest is better than that in pure Chinese fir forest, and also have an obvious inhibition to polyphenol oxides activity of soil.

Key words Evergreen broad-leaved forest Plantation management Soil fertility
Humus