

刘志刚,刘爱琴,朱晨曦,等. 生物炭对不同林龄杉木人工林林下植被的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(6):131-136.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.029

# 生物炭对不同林龄杉木人工林林下植被的影响

刘志刚<sup>1,2</sup>, 刘爱琴<sup>1,2</sup>, 朱晨曦<sup>1,2</sup>, 周垂帆<sup>1,2</sup>, 庄 正<sup>1,2</sup>, 于洋洋<sup>1,2</sup>

(1. 福建农林大学林学院, 福建福州 350002; 2. 国家林业局杉木工程技术研究中心, 福建福州 350002)

**摘要:**近年来杉木人工林地地力衰退日趋突出,林下植被对人工林地力有一定的影响,因此在福建三明莘口教学林场洋顶工区内选择 3 种发育阶段不同的杉木人工林设立样地,设计施生物炭(木炭、竹炭)及不施炭共 3 种处理,对样地内林下植被的种类、数量、地径、高度、冠幅、盖度等指标进行调查,研究生物炭对不同林龄林下植被的影响。结果表明,施炭 3 年后,不同林龄林下植被优势物种的种类和重要值发生了改变,物种多样性指数、均匀度指数、生态优势度指数也有所变化,表现为幼龄林灌木层竹炭处理 > 对照 > 木炭处理,草本层竹炭处理 > 木炭处理 > 对照;中龄林灌木层竹炭处理 > 对照 > 木炭处理,草本层对照 > 木炭处理 > 竹炭处理;成熟林灌木层草本层均是对照 > 竹炭处理 > 木炭处理。施生物炭对不同林龄的影响大小具体表现为成熟林 > 中龄林 > 幼龄林,木炭处理 > 竹炭处理。

**关键词:**生物炭;杉木;林下植被;重要值;物种多样性

**中图分类号:** X171.4; S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0131-06

杉木具有生长快、产量高、材质好的特点,在我国南方分布面积大,主要作为用材树种,在我国亚热带森林生态系统中占有十分重要的地位<sup>[1]</sup>。杉木连栽地力衰退日趋突出<sup>[2]</sup>,有研究发现杉木二代林比一代林产量下降 10% ~ 15%,三代林比一代林产量下降 40% ~ 50%,并发现林下植被可以有效提高土壤营养元素含量,增加土壤微生物数量,有效地维护和恢复土壤功能<sup>[3]</sup>。

林下植被作为森林生态系统的重要组成部分,对维持生态系统结构和功能的稳定有重要作用<sup>[4]</sup>。并且有研究发现林下植被对土壤含水量、温度、容重等物理性质有一定的影响<sup>[5]</sup>。有研究发现丰富的林下植被对人工林地力恢复有一定的影响<sup>[6]</sup>,林下植被对增加生态系统的物种多样性有一定的意义<sup>[7]</sup>。

生物炭由于其特殊的理化性质<sup>[8]</sup>受到了国内外专家学者的普遍关注。田永强等在生物炭自身性质以及在改良作物生长生态环境等方面进行了大量的研究,发现生物炭能够有效地吸附土壤或沉积物中的有机污染物和重金属<sup>[9]</sup>,而对土壤性质、作物产量等方面的研究存在争议,有部分研究认为生物炭的施加可以减少作物产量。而在生物炭对杉木林地生态环境的影响方面的研究较少,因此研究生物炭对杉木人工林林下植被多样性、数量以及对生态系统稳定性的影响具有一定的现实意义。

鉴于此,本研究在福建三明莘口教学林场选择 3 种不同林龄杉木人工林,施用不同的生物炭,研究生物炭对杉木人工林林下植被多样性的影响,为生物炭在杉木林地上的应用及

是否可以缓解杉木人工林连栽地力衰退提供理论参考。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区概况

试验样地设在福建省三明市莘口镇莘口教学林场洋顶工区(117°28'E, 26°09'N)内,此地距离三明市区大约 30 km,本区域为中亚热带季风气候,温和湿润,雨量充沛,年均气温 17 ~ 19.4 °C,年均降水量 1 600 ~ 1 800 mm,年均蒸发量 1 585 mm,年均相对湿度 79%,年均日照时间 1 872 h,无霜期 240 ~ 300 d,海拔 210 ~ 1 510 m。试验地土壤为坡积母质的山地红壤,林下植被主要有狗脊、芒萁等。试验地基本情况见表 1。

### 1.2 试验设计

2012 年 12 月 7 日在三明市莘口教学林场洋顶工区内选择立地条件、土壤条件相近,但发育阶段不同的杉木人工林设立样地,分别选取 2005 年造林的杉木幼龄林、1995 年造林的中龄林、1978 年造林的老龄林共 3 种发育阶段,按照 12 t/hm<sup>2</sup>的标准施生物炭 1 次,设计 3 种处理(施木炭、竹炭、不施生物炭),每个处理重复 3 次,共设 27 块样地,每块样地面积 20 m × 20 m。试验采用的生物炭以杉木和毛竹(杉木与毛竹为南方部分林场主要产品)为原料,传统土窑生产的木炭和竹炭,其基本性质见表 2。

### 1.3 植被调查

2015 年 12 月在样地进行植被调查,在每个 20 m × 20 m 的标准样地中设置 1 m × 1 m 的小样方 3 个,每种林龄设置 27 个小样方,共 81 个小样方。调查每个小样方灌木层(胸径小于 4 cm 的灌木和小乔木)和草本层的植物,灌木层记录种名、数量、地径、高度、冠幅,草本层记录种名、数量、高度、盖度<sup>[10-11]</sup>。

### 1.4 数据处理

1.4.1 重要值 用于植物群落数量分类,分析优势种集中程度时使用的综合指标<sup>[12]</sup>。

收稿日期:2017-10-28

基金项目:国家重点研发计划重点专项(编号:2016YFD0600300)。

作者简介:刘志刚(1992—)男,山东滨州人,硕士研究生,主要从事森林培育技术与理论研究。E-mail:1095771197@qq.com。

通信作者:刘爱琴,研究员,主要从事森林土壤研究。E-mail:fjlaq@126.com。

表 1 试验地基本性质

林龄	土层 (cm)	pH 值	全碳(C)含量 (g/kg)	全氮(N)含量 (g/kg)	全磷(P)含量 (g/kg)	全钾(K)含量 (g/kg)	速效磷(P)含量 (mg/kg)	速效钾(K)含量 (mg/kg)
幼龄林	0~20	4.17	21.56	1.09	0.59	20.65	7.39	91.30
	20~40	4.08	20.27	1.06	0.54	19.15	6.02	81.28
	40~60	4.02	10.73	1.02	0.44	20.06	5.82	61.22
中龄林	0~20	4.07	17.79	1.08	0.60	21.94	10.59	91.34
	20~40	4.03	11.50	1.08	0.54	20.06	10.18	69.45
	40~60	4.01	10.60	1.07	0.48	16.88	8.95	51.58
成熟林	0~20	4.03	24.40	1.08	0.53	20.85	8.94	86.14
	20~40	4.03	13.39	1.05	0.44	20.29	8.54	64.94
	40~60	4.00	10.33	1.01	0.36	19.61	6.33	47.23

表 2 生物炭基本理化性质

生物炭类型	含 N 量 (g/kg)	含 C 量 (g/kg)	含 P 量 (g/kg)	含 K 量 (g/kg)	pH 值
木炭	7.75	753.20	0.77	21.32	8.44
竹炭	8.58	664.30	2.01	32.10	9.56

灌木层重要值 = ( 相对显著度 + 相对多度 + 相对频度 ) / 3 ;

由于草本层的基径不易测量,草本层重要值 = ( 相对盖度 + 相对多度 + 相对频度 ) / 3 。

在计算重要值时,其中:

相对显著度 = ( 某物种的断面积之和 / 所有物种总断面积之和 ) × 100 % ;

相对盖度 = ( 某一植物种的盖度 / 所有物种盖度之和 ) × 100 % ;

相对多度 = ( 某物种个体数量 / 所有物种个体的总数量 ) × 100 % ;

相对频度 = ( 某物种出现的样方数 / 所有物种出现的总样方次数 ) × 100 % 。

1.4.2 物种多样性指数 物种丰富度采用样方的物种数 ( *S* ) 作为衡量指标;物种多样性采用 Shannon - Wiener 多样性指数 ( *H* )、Simpson 多样性指数 ( *D* );物种均匀度采用 Pielou 均匀度指数 ( *J'* ) 衡量;生态优势度指数采用 McIntosh 指数 ( *DMc* ) 来计算<sup>[13]</sup>。

$$H = - \sum (P_i \ln P_i);$$
$$D = 1 - \sum N_i (N_i - 1) / [N(N - 1)];$$
$$J' = H / \ln S;$$

$$DMc = (N - \sqrt{\sum N_i^2}) / (N - \sqrt{N}).$$

式中:  $P_i = N_i / N$ ,  $N_i$  为第  $i$  个物种的个体数量,  $P_i$  为第  $i$  个物种的相对多度,  $N$  为样方内各物种的个体总数量,  $S$  为物种丰富度。

1.4.3 数据分析 应用 Excel 2010 计算物种的重要值及多样性指数。

2 结果与分析

2.1 生物炭对不同林龄杉木人工林林下植被组成的影响

施加不同类型的生物炭 3 年后,不同林龄杉木人工林林下植被组成见表 3。可以看出,杉木幼龄林不同处理之间以对照组植被种类最多,有 26 种,隶属于 17 科 23 属,分别比木炭处理和竹炭处理多 10 种和 8 种,施用木炭处理在幼龄林中

的差别更明显;从中龄林不同处理之间可以看出,木炭处理植被种类最多,为 25 种,隶属于 20 科 22 属,分别比对照和竹炭处理多 7 种和 4 种,与对照比较施用木炭在中龄林差别更明显;在杉木成熟林的不同处理之间对照组植被种类最多,为 29 种,隶属于 22 科 24 属,分别比木炭和竹炭处理多 9 种和 10 种,施用竹炭在成熟林中的差别更明显。

表 3 不同生物炭处理下林下植被群落组成

林龄	处理	蕨类植物数			被子植物数			合计		
		科	属	种	科	属	种	科	属	种
幼龄林	对照	3	4	4	14	19	22	17	23	26
	木炭	2	2	2	13	14	14	15	16	16
	竹炭	3	3	3	13	14	15	16	17	18
中龄林	对照	8	9	11	7	7	7	15	16	18
	木炭	11	12	14	9	10	11	20	22	25
	竹炭	7	9	11	9	10	10	16	19	21
成熟林	对照	9	11	14	13	13	15	22	24	29
	木炭	5	5	8	10	11	12	15	16	20
	竹炭	9	10	12	7	7	7	16	17	19

2.2 生物炭对幼龄林林下植被群落变化的影响

2.2.1 幼龄林草本层植物 由表 4 可知,幼龄林草本层物种多度表现为对照 ( 7 种 ) > 竹炭处理 ( 5 种 ) > 木炭处理 ( 3 种 ),对照中的优势种为芒萁,重要值达到 43.92 % ,而在木炭和竹炭处理下的优势种为薄盖短肠蕨,重要值分别达到 40.02 % 、 38.73 % ,芒萁成为第 2 优势种,但与最优种的差距不大。芒萁、薄盖短肠蕨、五节芒在 3 种处理中均有出现,黑莎草、乌毛蕨、荩草仅出现在对照中,芦苇仅出现在竹炭处理中。可见生物炭的施加使幼龄林草本层物种数与对照相比有所减少,而施用竹炭的处理出现了新的物种。

2.2.2 幼龄林灌木层植物 由表 5 可知,幼龄林灌木层植物 ( 包括胸径小于 4 cm 的小乔木 ),其物种多度表现为对照 ( 20 种 ) > 竹炭处理 ( 13 种 ) = 木炭处理 ( 13 种 ),对照中的优势种为山苍子,重要值达到 32.67 % ;而在木炭和竹炭处理下的优势种分别为黄绒润楠 ( 重要值为 24.67 % )、青冈 ( 重要值为 19.38 % ),山苍子在木炭处理下的重要值排名第 4,为 12.36 % ,木炭处理下山苍子没有出现。乌桕、东南野桐、显齿蛇葡萄、山莓、黄绒润楠、白花龙、暗色菝葜在 3 种处理中均有出现,仅出现在对照中的物种有地念、锈毛莓、枇杷叶紫珠、大青、三花悬钩子、细圆藤、菝葜、香花崖豆藤;赤楠仅在木炭处理中出现。可见生物炭施加 3 年后幼龄林灌木层的物种数少于对照。

表 4 不同生物炭处理下幼龄林林下草本层植物的重要值

序号	植物名称	拉丁学名	对照		木炭		竹炭	
			重要值(%)	排序	重要值(%)	排序	重要值(%)	排序
1	芒萁	<i>Dicranopteris dichotoma</i> (Thunb.) Bernh.	43.92	1	39.23	2	37.03	2
2	薄盖短肠蕨	<i>Allantodia hachijoensis</i> (Nakai) Ching	22.44	2	40.02	1	38.73	1
3	五节芒	<i>Miscanthus floridulus</i> (Lab.) Warb. ex Schum. et Laut.	14.42	3	20.75	3	18.65	3
4	黑莎草	<i>Gahnia tristis</i>	12.73	4	—	—	—	—
5	乌毛蕨	<i>Blechnum orientale</i>	2.55	5	—	—	—	—
6	狗脊	<i>Woodwardia japonica</i> (L. f.) Sm.	2.06	6	—	—	2.16	5
7	萁草	<i>Arthraxon hispidus</i> (Thunb.) Makino	1.87	7	—	—	—	—
8	芦苇	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud	—	—	—	—	3.43	4

注:“—”表示无相应植物。下表同。

表 5 不同生物炭处理下幼龄林林下灌木层植物的重要值

序号	植物名称	拉丁学名	对照		木炭		竹炭	
			重要值(%)	排序	重要值(%)	排序	重要值(%)	排序
1	山苍子	<i>Litsea cubeba</i> (Lour.) Pers.	32.67	1	12.36	4	—	—
2	乌柏	<i>Sapium sebiferum</i> (L.) Roxb.	10.17	2	17.03	2	7.26	5
3	绒毛润楠	<i>Machilus velutina</i> Champ. ex Benth	8.11	3	—	—	4.31	9
4	地念	<i>Melastoma dodecandrum</i> Lour.	7.80	4	—	—	—	—
5	锈毛莓	<i>Rubus reflexus</i> Ker	6.56	5	—	—	—	—
6	东南野桐	<i>Mallotus lianus</i> Croiz.	4.80	6	5.77	6	6.26	6
7	显齿蛇葡萄	<i>Ampelopsis grossedentata</i> (Hand – Mazz) W. T. wang	4.25	7	7.24	5	12.98	3
8	山莓	<i>Rubus corchorifolius</i> L. f.	3.47	8	5.18	7	4.34	8
9	盐肤木	<i>Rhus chinensis</i> Mill.	3.46	9	1.55	10	—	—
10	枇杷叶紫珠	<i>Callicarpa kochiana</i>	2.99	10	—	—	—	—
11	大青	<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i> Turcz.	2.89	11	—	—	—	—
12	黄绒润楠	<i>Machilus grijsii</i> Hance	2.28	12	24.67	1	17.95	2
13	箬竹	<i>Indocalamus tessellatus</i> (Munro) Keng f.	1.98	13	—	—	11.12	4
14	白花龙	<i>Styrax confusa</i> Hemsl	1.69	14	1.48	11	3.82	10
15	异果崖豆藤	<i>Millettia dielsiana</i> Harms var. <i>heterocarpa</i> (Chun ex T. Chen) Z. Wei	1.68	15	—	—	3.15	12
16	三花悬钩子	<i>Rubus trianthus</i>	1.42	16	—	—	—	—
17	细圆藤	<i>Pericampylus glaucus</i> (Lam.) Merr.	0.97	17	—	—	—	—
18	暗色菝葜	<i>Smilax lanceifolia</i> var. <i>opaca</i> A. DC.	0.94	18	1.44	12	1.45	13
19	菝葜	<i>Smilax china</i> L.	0.94	18	—	—	—	—
20	香花崖豆藤	<i>Millettia dielsiana</i> Harms	0.94	18	—	—	—	—
21	赤楠	<i>Syzygium buxifolium</i>	—	—	5.00	8	—	—
22	欆木	<i>Loropetalum chinensis</i> (R. Br.) Oliv	—	—	1.44	12	3.43	11
23	青冈	<i>Cyclobalanopsis chungii</i> (F. P. Metcalf) Y. C. Hsu et H. W. Jen ex Q. F. Zheng	—	—	15.04	3	19.38	1
24	山血丹	<i>Ardisia lindleyana</i>	—	—	1.81	9	4.54	7

2.3 生物炭对 中龄林林下植被群落变化的影响

2.3.1 中龄林草本层植物 由表 6 可知,中龄林草本层物种多度表现为木炭处理(15 种) > 竹炭处理(13 种) > 对照(12 种),对照、木炭处理、竹炭处理的优势种均为棕叶狗尾草,重要值分别达到 20.08%、24.45%、33.64%。棕叶狗尾草、薄盖短肠蕨、狗脊、乌毛蕨、华南毛蕨、金毛狗、深绿卷柏、观音莲座蕨在 3 种处理中均有出现,东方乌毛蕨、铁线蕨仅出现在对照中,半边旗、海金沙仅在木炭处理下出现,芦竹、羽裂圣蕨仅在竹炭处理下出现,出现在施炭处理中而在对照中未出现的有淡绿短肠蕨、江南短肠蕨、水韭等 7 种植物。可见施炭处理增加了中龄林林下草本植物的物种数量,木炭处理比竹炭处理的效果更明显。

2.3.2 中龄林灌木层植物 由表 7 可知,中龄林灌木层物种多度表现为木炭处理(9 种) > 竹炭处理(8 种) > 对照(6 种),对照、木炭处理、竹炭处理的优势种均为短梗南蛇藤,重要值分别达到 60.33%、49.42%、48.54%。粗叶榕在 3 种处理中均有出现,白花苦灯笼仅出现在对照中,东南野桐、红叶石楠、锈毛莓仅在木炭处理下出现,笔罗子、空心炮、显齿蛇葡萄仅在竹炭处理下出现。出现在施炭处理中而在对照中未出现的有白花龙、毛冬青等 8 种植物,在对照中重要值达到 14.43% 且排在第二优势种的大青在木炭处理下未出现。可见施炭处理增加了中龄林林下灌木植物的物种数量,改变了优势物种的种类和重要度,木炭处理比竹炭处理的效果更明显。

表 6 不同生物炭处理下中龄林林下草本层植物的重要值

序号	植物名称	拉丁学名	对照		木炭		竹炭	
			重要值(%)	排序	重要值(%)	排序	重要值(%)	排序
1	棕叶狗尾草	<i>Setaria palmifolia</i> (Koen. ) Stapf	20.08	1	24.45	1	33.64	1
2	扇叶铁线蕨	<i>Adiantum flabellulatum</i>	13.17	2	14.61	2	—	—
3	薄盖短肠蕨	<i>Allantodia hachijoensis</i> (Nakai) Ching	12.66	3	8.90	4	6.21	6
4	狗脊	<i>Woodwardia japonica</i> (L. ) J. Sm.	9.92	4	5.88	7	3.75	10
5	乌毛蕨	<i>Blechnum orientale</i>	9.42	5	5.88	8	6.83	5
6	华南毛蕨	<i>Cyclosorus parasiticus</i> (L. ) Farwell.	9.27	6	10.36	3	12.37	2
7	铁线蕨	<i>Adiantum capillus - veneris</i> L.	6.39	7	—	—	—	—
8	金毛狗	<i>Cibotium barometz</i>	5.49	8	3.56	10	11.86	3
9	东方乌毛蕨	<i>Blechnum orientale</i>	4.37	9	—	—	—	—
10	深绿卷柏	<i>Selaginella doederleinii</i>	3.85	10	8.13	5	8.48	4
11	乌蕨	<i>Stenoloma chusanum</i> (L. ) Ching	3.28	11	6.03	6	—	—
12	观音莲座蕨	<i>Angiopteris fokiensis</i> Hieron	2.10	12	3.81	9	4.31	7
13	半边旗	<i>Pteris semipinnata</i>	—	—	1.65	13	—	—
14	淡绿短肠蕨	<i>Allantodia virescens</i>	—	—	1.93	12	1.59	12
15	海金沙	<i>Lygodium japonicum</i> (Thunb. ) Sw.	—	—	1.15	15	—	—
16	江南短肠蕨	<i>Allantodia metteniana</i> (Miq. ) Ching	—	—	2.30	11	4.05	8
17	水韭	<i>Isotes sinensis</i> Palmer	—	—	1.37	14	1.28	13
18	芦竹	<i>Arundo donax</i>	—	—	—	—	3.96	9
19	羽裂圣蕨	<i>Dictyocline wilfordii</i>	—	—	—	—	1.66	11

表 7 不同生物炭处理下中龄林林下灌木层植物的重要值

序号	植物名称	拉丁学名	对照		木炭		竹炭	
			重要值(%)	排序	重要值(%)	排序	重要值(%)	排序
1	短梗南蛇藤	<i>Celastrus rosthornianus</i> Loes.	60.33	1	49.42	1	48.54	1
2	大青	<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i> Turcz.	14.43	2	—	—	3.80	6
3	白花苦灯笼	<i>Tarenna mollissima</i> (Hook. et Arn. ) Rob.	11.22	3	—	—	—	—
4	黄绒润楠	<i>Machilus grijsii</i> Hance	6.81	4	3.75	5	—	—
5	檫木	<i>Aralia chinensis</i> L.	4.48	5	3.07	6	—	—
6	粗叶榕	<i>Ficus hirta</i> Vahl	2.73	6	11.35	3	9.78	4
7	白花龙	<i>Styrax confusa</i> Hemsl	—	—	2.99	8	10.97	3
8	东南野桐	<i>Mallotus lianus</i> Croiz.	—	—	2.33	9	—	—
9	红叶石楠	<i>Photinia fraseri</i>	—	—	6.05	4	—	—
10	毛冬青	<i>Ilex pubescens</i> Hook. et Arn	—	—	17.98	2	7.77	5
11	锈毛莓	<i>Rubus reflexus</i> Ker	—	—	3.07	6	—	—
12	笔罗子	<i>Meliosma rigida</i> Sieb. et Zucc.	—	—	—	—	3.59	7
13	空心炮	<i>Rubus rosaefolius</i> Smith	—	—	—	—	13.31	2
14	显齿蛇葡萄	<i>Ampelopsis grossedentata</i> (Hand - Mazz) W. T. Wang	—	—	—	—	2.26	8

2.4 生物炭对成熟林林下植被群落变化的影响

2.4.1 成熟林草本层植物 由表 8 可知,成熟林草本层物种多度表现为对照(15 种) > 竹炭处理(14 种) > 木炭处理(9 种),对照、竹炭处理的优势种均为华山姜,重要值分别达到 18.57%、19.45%,木炭处理的优势种为宽羽毛蕨,重要值为 20.21%。华山姜、金毛狗、江南短肠蕨、宽羽毛蕨、华南毛蕨、乌毛蕨、深绿卷柏、薄盖短肠蕨在 3 种处理中均有出现,羽裂圣蕨仅出现在对照中,棕叶狗尾草仅在竹炭处理下出现。可见施炭 3 年后,成熟林林下草本植物的物种数量减少,木炭处理比竹炭处理减少物种数量的效果更明显。

2.4.2 成熟林灌木层植物 由表 9 可知,成熟林灌木层物种多度表现为对照(14 种) > 木炭处理(11 种) > 竹炭处理(5 种),对照的优势种为毛冬青,重要值为 23.74%;木炭处理的优势种为菝葜,重要值为 33.94%;竹炭处理的优势种为白花

龙,重要值为 38.97%。毛冬青、白花龙、显齿蛇葡萄在 3 种处理中均有出现。异果崖豆藤、大青、玉叶金花仅出现在对照中,杜茎山、香花崖豆藤仅在木炭处理下出现。可见施炭处理 3 年后,成熟林林下灌木植物的物种数量减少,优势物种的种类和重要值也改变,竹炭处理比木炭处理的效果更明显。

2.5 不同生物炭处理下杉木人工林林下植被多样性指数

由图 1 可见,施生物炭 3 年后,幼龄林灌木层物种丰富度指数表现为对照 > 竹炭处理 = 木炭处理,Shannon - Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数、McIntosh 指数均是竹炭处理 > 对照 > 木炭处理。中龄林灌木层物种丰富度指数表现为木炭处理 > 竹炭处理 > 对照,Shannon - Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数、McIntosh 指数均是竹炭处理 > 对照 > 木炭处理。成熟林灌木层物种丰富度指数表现为对照 > 木炭处理 > 竹炭处理,

表 8 不同生物炭处理下成熟林林下草本层植物的重要值

序号	植物名称	拉丁学名	对照		木炭		竹炭	
			重要值(%)	排序	重要值(%)	排序	重要值(%)	排序
1	华山姜	<i>Alpinia chinensis</i> (Retz.) Rosc.	18.57	1	10.44	5	19.45	1
2	金毛狗	<i>Cibotium barometz</i>	15.90	2	18.26	3	12.52	2
3	江南短肠蕨	<i>Allantodia metteniana</i> (Miq.) Ching	13.06	3	16.19	4	12.40	3
4	狗脊	<i>Woodwardia japonica</i> (L. f.) Sm.	10.17	4	—	—	7.40	6
5	宽羽毛蕨	<i>Cyclosorus latipinnus</i>	8.30	5	20.21	1	11.02	5
6	华南毛蕨	<i>Cyclosorus parasiticus</i> (L.) Farwell.	5.69	6	2.44	9	3.89	10
7	扇叶铁线蕨	<i>Adiantum flabellulatum</i>	5.47	7	—	—	2.47	11
8	羽裂圣蕨	<i>Dictyocline wilfordii</i>	4.28	8	—	—	—	—
9	水韭	<i>Isotes sinensis</i> Palmer	4.12	9	—	—	3.93	9
10	乌毛蕨	<i>Blechnum orientale</i>	4.04	10	3.99	7	5.84	7
11	乌蕨	<i>Stenoloma chusanum</i> (L.) Ching	3.26	11	—	—	2.07	12
12	铁线蕨	<i>Adiantum capillus-veneris</i> L.	2.07	12	3.32	8	—	—
13	观音莲座蕨	<i>Angiopteris fokiensis</i> Hieron	2.00	13	—	—	4.23	8
14	深绿卷柏	<i>Selaginella doederleinii</i>	1.68	14	6.56	6	11.56	4
15	薄盖短肠蕨	<i>Allantodia hachijoensis</i> (Nakai) Ching	1.38	15	18.60	2	1.67	13
16	棕叶狗尾草	<i>Setaria palmifolia</i> (Koen.) Stapf	—	—	—	—	1.55	14

表 9 不同生物炭处理下成熟林林下灌木层植物的重要值

序号	植物名称	拉丁学名	对照		木炭		竹炭	
			重要值(%)	排序	重要值(%)	排序	重要值(%)	排序
1	毛冬青	<i>Ilex pubescens</i> Hook. et Arn	23.74	1	2.23	10	16.66	3
2	山血丹	<i>Ardisia lindleyana</i>	11.57	2	2.52	7	—	—
3	绒毛润楠	<i>Machilus velutina</i> Champ. ex Benth	10.82	3	—	—	3.82	4
4	青冈	<i>Cyclobalanopsis chungii</i> (F. P. Metcalf) Y. C. Hsu et H. W. Jen ex Q. F. Zheng	8.73	4	31.80	2	—	—
5	白花龙	<i>Styrax confusa</i> Hemsl	8.71	5	2.48	8	38.97	1
6	菝葜	<i>Smilax china</i> L.	8.51	6	33.94	1	—	—
7	黄绒润楠	<i>Machilus grijsii</i> Hance	8.02	7	3.32	5	—	—
8	异果崖豆藤	<i>Millettia dielsiana</i> Harms var. <i>heterocarpa</i> (Chun ex T. Chen) Z. Wei	5.21	8	—	—	—	—
9	显齿蛇葡萄	<i>Ampelopsis grossedentata</i> (Hand-Mazz) W. T. Wang	3.08	9	3.62	4	2.85	5
10	粗叶榕	<i>Ficus hirta</i> Vahl	3.05	10	2.40	9	—	—
11	大青	<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i> Turcz.	2.74	11	—	—	—	—
12	玉叶金花	<i>Mussaenda pubescens</i> Ait. f.	2.03	12	—	—	—	—
13	暗色菝葜	<i>Smilax lanceifolia</i> var. <i>opaca</i> A. DC.	1.89	13	2.23	10	—	—
14	木荷	<i>Schima superba</i> Gardn. et Champ.	1.89	13	—	—	37.70	2
15	杜茎山	<i>Maesa japonica</i> (Thunb.) Moritzi.	—	—	12.72	3	—	—
16	香花崖豆藤	<i>Millettia dielsiana</i> Harms	—	—	2.74	6	—	—

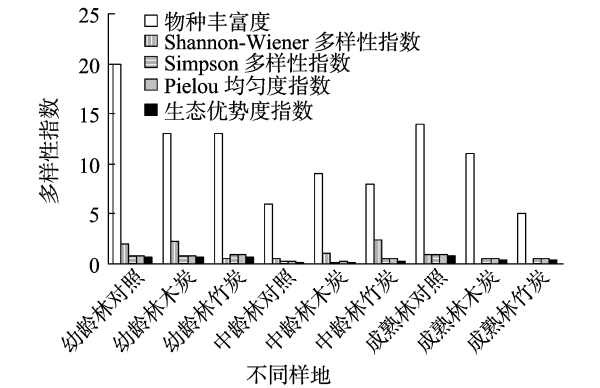


图1 不同生物炭处理下杉木人工林林下灌木植被的多样性指数

Shannon - Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数、McIntosh 指数均是对照 > 竹炭处理 > 木炭处理。

由图 2 可见,施生物炭 3 年后,幼龄林草本层物种丰富度指数表现为对照 > 竹炭处理 > 木炭处理,Shannon - Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数、McIntosh 指数均是竹炭处理 > 木炭处理 > 对照。中龄林草本层物种丰富度指数表现为木炭处理 > 竹炭处理 > 对照,Shannon - Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数、McIntosh 指数均是对照 > 木炭处理 > 竹炭处理。成熟林草本层物种丰富度指数、Shannon - Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数、McIntosh 指数均是对照 > 竹炭处理 > 木炭处理。

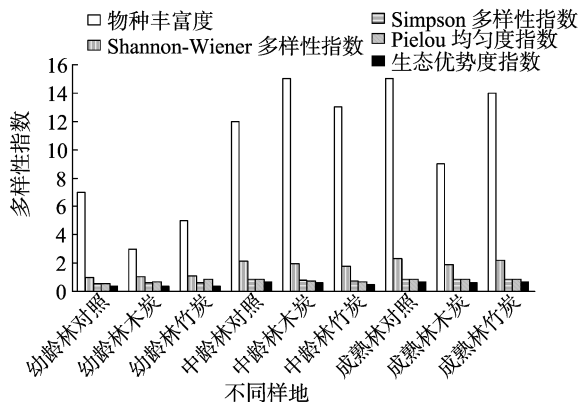


图2 不同生物炭处理下杉木人工林林下草本植被多样性指数

### 3 讨论与结论

研究表明,栽植代数、发育阶段、造林密度等都对杉木人工林林下植被的生长发育和群落结构变化有一定的影响<sup>[9,14]</sup>,林下植被的物种多样性指数与土壤全N、全K、速效K含量基本呈显著的正相关关系,与含水率、pH值、P含量的关系不显著,这说明土壤全N、全K、速效K含量是影响林下植被生长和分布的主要因子<sup>[15]</sup>。生物炭作为改善土壤质量、增加土壤碳截留的有效改良材料<sup>[16-17]</sup>,施入土壤后,可以降低土壤容重,提高土壤孔隙度、饱和导水率,还能增加土壤有机碳、有效磷和阳离子交换量,提升土壤pH值<sup>[18-19]</sup>。

由孟李群的研究可知,施用生物炭处理1年后,对杉木成熟林林下植被的影响更显著,植被种类增加了4种<sup>[20]</sup>。在不同生物炭处理下,杉木各林分灌木层的优势种无变化,但草本层的蕨类植物增加。本研究发现,施加生物炭3年后,对杉木幼龄林林下植被的影响最明显,物种多样性指数、均匀度指数、生态优势度指数整体均有所提高,但生物炭处理减少了植被种类数,生物炭处理3年后仅有中龄林的灌木层和草本层植被种类数量增加,这与施生物炭1年后调查的结果不同,原因可能是施生物炭1年后土壤养分含量高于对照,而施生物炭3年后养分含量与对照差距减小,说明杉木人工林林下植被与土壤养分含量密切相关。

整体上看,施加竹炭后比施加木炭后的物种多样性指数、均匀度指数、生态优势度指数要高,说明竹炭比木炭对林下植被的群落结构的影响大。施入土壤中的竹炭全N含量为8.58 g/kg,全K含量为32.10 g/kg;木炭全N含量为7.75 g/kg,全K含量为21.32 g/kg,竹炭含量高于木炭,施入土壤后提高了土壤中养分含量,为林下植被的生长提供了有利的环境。由此可见,生物炭的施加改变了不同林龄的杉木人工林的土壤养分含量,从而影响了林下植被的发育。丰富的林下植被可以提高土壤N、K等养分含量,对杉木连栽造成的地力衰退有一定的恢复作用,而本研究中林下植被的种类和数量是减少的,物种多样性指数、均匀度指数、生态优势度指数大部分也是对对照高于施生物炭处理,有研究者发现20%的研究中生物炭使作物产量下降,50%的研究表明施加生物炭可以提高作物产量,有很多试验结论是相互矛盾的<sup>[9,21]</sup>,这说明生物炭有可能产生对林下植被不利的影响。因此将生物炭作为土壤改良剂恢复地力还有待深入研究,而且我国土壤类型众多,不同类型的土壤施用不同生物炭的效果不一,

如何合理施用生物炭还需要更多的理论支撑。

### 参考文献:

- [1] 俞月凤,宋同清,曾馥平,等. 杉木人工林生物量及其分配的动态变化[J]. 生态学杂志,2013,32(7):1660-1666.
- [2] Ma X Q, Liu C J, Hannu I, et al. Biomass, litterfall and the nutrient fluxes in Chinese fir stands of different age in subtropical China[J]. Journal of Forestry Research, 2002, 13(3): 165-170.
- [3] 盛炜彤,杨承栋. 关于杉木林下植被对改良土壤性质效用的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(4): 377-385.
- [4] 贾亚运,周丽丽,吴鹏飞,等. 不同发育阶段杉木人工林林下植被的多样性[J]. 森林与环境学报, 2016(1): 36-41.
- [5] 李东海,杨小波,邓运武,等. 桉树人工林林下植被、地面覆盖物与土壤物理性质的关系[J]. 生态学杂志, 2006, 25(6): 607-611.
- [6] 林开敏,马祥庆,范少辉,等. 杉木人工林林下植物的消长规律[J]. 福建林学院学报, 2000, 20(3): 231-234.
- [7] 刘健,郭建宏,郭进辉,等. 茫荡山自然保护区森林生态系统生态评价[J]. 福建林学院学报, 2003, 23(2): 106-110.
- [8] 赵凤亮,单颖,刘玉学,等. 不同生物炭类型及添加量对土壤碳氮转化的影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(12): 2261-2267.
- [9] 田永强,张正,张倩茹,等. 生物炭的研究现状与对策分析[J]. 山西农业科学, 2016, 44(5): 680-681, 714.
- [10] Kume A, Satomura T, Tsuboi N, et al. Effects of understory vegetation on the ecophysiological characteristics of an overstory pine, *Pinus densiflora* [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 176(1/2/3): 195-203.
- [11] Wilson S M, Pyatt D G, Ray D, et al. Indices of soil nitrogen availability for an ecological site classification of British forests[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 220(1/2/3): 51-65.
- [12] 何兴东,高玉葆,刘惠芬. 重要值的改进及其在羊草群落分类中的应用[J]. 植物研究, 2004, 25(4): 466-472.
- [13] 刘玉宝. 29年生杉木林下植物多样性与密度的关系[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(1): 27-30.
- [14] 范少辉,马祥庆,陈绍栓,等. 多代杉木人工林生长发育效应的研究[J]. 林业科学, 2000, 36(4): 9-15.
- [15] 陈彩虹,田大伦,方晰,等. 城郊4种人工林林下植被物种多样性、生物量与土壤养分相关性[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6): 213-217.
- [16] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - a review [J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006, 11(2): 395-419.
- [17] Singh B P, Hatton B J, Balwant S, et al. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils[J]. Journal of Environmental Quality, 2010, 39(4): 1224-1235.
- [18] 李秋霞,陈效民,靳泽文,等. 生物质炭对旱地红壤理化性状和作物产量的持续效应[J]. 水土保持学报, 2015(3): 208-213, 261.
- [19] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review [J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(4): 219-230.
- [20] 孟李群. 施用生物炭对杉木人工林生态系统的影响研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- [21] 江秋菊,刘京,张跃强. 生物质炭改良土壤研究进展[J]. 甘肃农业科技, 2017(6): 68-71.