

# 巨尾桉工业原料林下植物多样性与土壤因子的关系

赵一鹤<sup>1</sup>, 张静美<sup>2</sup>, 杨宇明<sup>1</sup>, 李昊民<sup>3</sup>

(1. 云南省林业科学院, 云南 昆明 650201; 2. 云南林业职业技术学院,  
云南 昆明, 650224; 3. 中国林业科学研究院 资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 采用野外调查与室内分析相结合的方法, 研究了巨尾桉工业原料林下植物多样性、土壤因子的变化特征以及二者之间的关系。结果表明, 物种丰富度指数是草本层最高, 而 Simpson 指数、Shannon—Wiener 指数和均匀度指数是灌木层最高。巨尾桉林地土壤水分含量的变化规律为: 母质层 > 淀积层 > 腐殖质层, 有机质、水解氮、有效磷和速效钾含量的变化规律为: 腐殖质层 > 淀积层 > 母质层。腐殖质层、淀积层和母质层的土壤水分含量、有机质含量与灌木层或草本层丰富度指数、多样性指数和均匀度指数无显著相关性; 腐殖质层速效钾含量与草本层 Simpson 指数极显著相关; 淀积层速效钾含量与灌木层 Simpson 指数极显著相关; 水解氮与灌木层及草本层以 Simpson 指数为基础的均匀度指数, 以 Shannon—Wiener 指数为基础的均匀度指数极显著相关; 母质层土壤各因子含量与灌木层或草本层多样性指数无显著相关。研究结果为巨尾桉林的可持续经营管理提供理论基础和科学依据。

**关键词:** 巨尾桉; 林下植物; 多样性; 土壤; 关系

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0086-07

中图分类号: S157

## Relationship Between Undergrowth Vegetation Species Diversity and Soil Factors in Industrial Raw Material Forests of *Eucalyptus Grandis* × *E. Urophylla*

ZHAO Yi-he<sup>1</sup>, ZHANG Jing-mei<sup>2</sup>, YANG Yu-ming<sup>1</sup>, LI Hao-min<sup>3</sup>

(1. Yunnan Academy of Forestry, Kunming, Yunnan 650201, China; 2. Yunnan Forestry Technological College, Kunming, Yunnan 650224, China; 3. Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

**Abstract:** Changes of soil factors and undergrowth vegetation species diversity indices, as well as their relationship, in the *Eucalyptus* industrial raw material forests of Yunnan Province are studied through filed investigation and laboratory analysis. Results show that species richness of herb layer is the highest, while Simpson index, Shannon—Wiener index and Evenness index of shrub layer are the highest. Meanwhile, soil moisture contents in different soil layers under the *E. grandis* × *E. urophylla* plantation show the order of parent material horizon > illuvial horizon > humus horizon. However, organic matter content, hydrolytic nitrogen, and available phosphorus and potassium decrease with depth and show the order of humus horizon > illuvial horizon > parent material horizon. Correlation analysis shows that species richness, biodiversity index and evenness index of shrub and grass layers are not significantly correlated with soil moisture and organic matter content in any soil layer. The K content of humus layer and Simpson diversity index of herb layer are significantly correlated. It is also true for the relationship between the K content of illuvial horizon and Simpson index of shrub layer. And there is a notable correlation between the N content and diversity index-based evenness index of shrub and herb layers. The soil factors of parent material and the diversity indices of herb and shrub layers are not correlated. The findings from the study may provide a theoretical basis and scientific evidences for the sustainable management of *Eucalyptus* industrial raw material forests.

**Keywords:** *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*; undergrowth vegetation; diversity; soil; relationship

在中国热带亚热带地区, 速生、短轮伐期巨尾桉 (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*) 工业原料林的

大面积种植对生物多样性影响的问题不容忽视。巨尾桉属桃金娘科 (Myrtaceae) 桉树属 (*Eucalyptus*) 植

收稿日期: 2012-03-07

修回日期: 2013-07-17

资助项目: 国家自然科学基金项目“滇西北高原湿地湖滨带演变规律及其驱动机制研究”(U0933601); 云南省科技厅社会发展专项“森林植被演变特征及生态功能稳定性研究与应用示范”(2010CA010)

作者简介: 赵一鹤(1970—), 男(白族), 云南省大理市人, 博士, 副研究员, 研究方向为森林生态学。E-mail: kjzc123@163.com。

通信作者: 杨宇明(1955—), 男(汉族), 云南省德宏州人, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为野生动物学。E-mail: yymbamb@163.com。

物,系巨桉(*E. grandis*)和尾叶桉(*E. urophylla*)的杂交种,是发展短周期工业原料林的优良阔叶树种<sup>[1-3]</sup>,但随着桉树人工林的迅猛发展,其生态环境风险问题成为学术界争论的焦点<sup>[1,4-6]</sup>。

土壤是植物生长重要的物质基础,土壤性质与植物群落组成结构和植物多样性有着密切的关系,国内外对植物多样性与土壤的关系进行了大量的研究,得出了许多有价值的结论,但研究结果差异较大<sup>[7-12]</sup>。针对桉树人工林下植物多样性及其与土壤因子变化关系的研究报道较少,并且研究区域多集中在华南热带、南亚热带季风气候背景下的平原地区<sup>[13]</sup>。近年来,在云南省南部热带、南亚热带高原山地地区,巨尾桉林的种植面积近  $3.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,该区是云南省生境高度敏感的区域,也是云南省生物多样性保护极为敏感和重要的地区,物种丰富度高,但同时生境较脆弱,一旦破坏很难恢复<sup>[14]</sup>。在云南省南部热带、南亚热带高原山地独特的地形地势和气候条件下,巨尾桉林下植物多样性与土壤因子的关系与华南热带、南亚热带平原地区不同,相关文献尚未见有报道,林下植物多样性与土壤因子的关系是亟待研究的关键科学问题。

本研究以云南省普洱市的大面积巨尾桉林为研究对象,采用群落学调查法,探讨在云南南部热带、南亚热带高原山地独特的地形地势和气候条件下,巨尾桉林下植物多样性分布特征、林地土壤肥力特征以及二者之间的关系,旨在从巨尾桉林下植物多样性与土壤因子关系的角度,为巨尾桉林的可持续经营管理提供理论基础和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于云南省普洱市澜沧县( $22^{\circ}31' - 23^{\circ}16' \text{ N}$ ,  $99^{\circ}29' - 100^{\circ}35' \text{ E}$ ),属南亚热带高原山地季风气候区,年平均气温  $19.1^{\circ} \text{ C}$ ,极端最高气温  $37.2^{\circ} \text{ C}$ ,极端最低气温  $-1.0^{\circ} \text{ C}$ , $\geq 10^{\circ} \text{ C}$ 年积温  $6\,921.6^{\circ} \text{ C}$ 。年均降雨量  $1\,626.5 \text{ mm}$ ,年平均相对湿度  $79\%$ ,年平均日照时数  $2\,098.0 \text{ h}$ 。

研究区林分为 5 年生巨尾桉纯林,原造林地为刀耕火种的弃耕地,采用巨尾桉扦插苗挖穴整地造林,造林密度  $1\,995 \text{ 株/hm}^2$ 。调查样地未进行割灌除草和施肥等抚育管理,以排除人为干扰对林下植物物种的影响。巨尾桉林群落结构简单,上层乔木树种为巨尾桉,林下植物种类主要有地桃花(*Urena lobata*)、黄花稔(*Sida acuta*)、假朝天罐(*Osbeckia crinita*)、酸藤子(*Embelia laeta*)、思茅水锦树(*Wendlandia augustinii*)、毛叶悬钩子(*Rubus polioophyllus*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、蕨(*Pteridium aquilinum*)

var. *latiusculum*)、紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)、飞机草(*Eupatorium odoratum*)、斑鸠菊(*Vernonia esculenta*)、青蒿(*Artemisia carvifolia*)、白酒草(*Conyza japonica*)、长叶雀稗(*Paspalum longifolium*)、弓果黍(*Cyrtococcum patens*)。林地多为中、低山地貌,土壤类型为红壤。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样方的建立及调查方法 采用群落学调查法,在野外踏查的基础上,根据一致性、代表性和同质性的原则,在巨尾桉林的核心区选取结构完整,受人为因素影响较小、坡度较平缓的地段建立样方,以避免受到边缘效应和立地条件的影响。设置 30 个投影面积为  $15 \text{ m} \times 15 \text{ m}$  的调查样地,并进一步将每个样地划分为 25 个  $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  的样方,对每块样地均记录海拔高度、土壤类型、土层厚度、坡向、坡度、坡位等立地因子(表 1)。

表 1 调查样地概况

样地号	海拔/ m	土层厚 度/cm	树龄/ a	坡位	坡向	坡度/ ( $^{\circ}$ )
1	1 773	70	5	下	E	17
2	1 770	75	5	下	E	16
3	1 712	68	5	下	NW	18
4	1 710	75	5	下	NW	18
5	1 880	80	5	中	S	17
6	1 880	85	5	中	S	16
7	1 880	80	5	中	S	18
8	1 700	65	5	下	S	16
9	1 700	60	5	下	S	16
10	1 800	50	5	中	W	17
11	1 800	80	5	中	W	19
12	1 800	80	5	中	W	17
13	1 817	70	5	中	E	18
14	1 810	80	5	中	E	19
15	1 700	85	5	下	E	19
16	1 710	80	5	下	SW	19
17	1 760	90	5	下	SW	17
18	1 600	95	5	下	W	18
19	1 860	90	5	上	W	15
20	1 880	85	5	上	S	16
21	1 700	110	5	下	W	19
22	1 720	95	5	下	E	18
23	1 710	98	5	下	N	15
24	1 740	105	5	下	N	18
25	1 800	90	5	下	E	17
26	1 810	95	5	下	E	15
27	1 830	100	5	下	E	19
28	1 750	85	5	中	SW	19
29	1 780	80	5	中	SW	18
30	1 780	90	5	中	SW	17

(1) 乔木层调查。调查  $15 \text{ m} \times 15 \text{ m}$  样地内巨尾桉林乔木层的株数、胸径、树高等。

(2) 灌木层和草本层调查。调查样方为样地 4 个角和中心位置  $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  样方 5 个,分别记录每样

方内的灌木和草本物种种类、生长状况、株数/丛数、高度、盖度等。对于野外不能确定的植物物种,采集标本并鉴定。

(3) 物种多样性测度。选取物种丰富度( $S$ )、Simpson 指数( $D$ )、Shannon—Wiener 指数( $H'$ )、以 Simpson 指数为基础的均匀度( $JD$ )、以 Shannon—Wiener 指数为基础的均匀度( $JH$ )来测度和分析群落物种多样性特征<sup>[15-16]</sup>。

(4) 土壤采集与主要指标测定。对应于 15 m × 15 m 巨尾桉林下植物多样性调查样地,在样地的中心位置即对角线的交点,按自然土壤剖面取样法,挖土壤剖面,通常长 1.5~2 m,宽 0.8~1 m,深 1~1.5 m,土层深不足 1 m 时挖至母岩风化层。记录土壤颜色、土层厚度、质地、石砾含量等特征。按土壤剖面取样法采集腐质层、淀积层和母质层 3 个层次中央的土样,将样品分别装入已知重量的铝盒,每层 3 次重复取样,然后密封,带回实验室采用烘干法立刻测定土壤水分。并在 3 个层次各取 500~1 000 g 土样装入布袋,带回室内分出杂物,晾干,磨细,过 100 目筛,置于广口瓶中待测。选择有机质、水解氮、有效磷

和速效钾为测定指标,测定指标为 3 重复取平均值。测定方法为<sup>[17]</sup>:有机质经油浴加热  $K_2Cr_2O_7$  氧化后用容量法测定,水解氮测定用碱解扩散法,有效磷测定用钼锑抗比色法,速效钾测定用火焰光度计法。

1.2.2 数据处理方法 将所收集到的数据分成两类,即物种多样性变量和土壤因子变量。物种多样性变量包括  $S, D, H', JD, JH$  共 5 个子变量,土壤因子 5 个子变量为水分含量、有机质含量、水解氮含量、有效磷含量、速效钾含量。由 SPSS 16.0 和 Excel 2000 完成相关的计算和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 巨尾桉林下植物多样性分布特征

不同样地的物种丰富度  $S$  见图 1,结果表明,物种丰富度  $S$  的变化规律为草本层 > 灌木层,由于每块样地所处的环境条件不同,物种丰富度大小也各有差异,种间差异是系统发育导致的表型多样性、生态多样性,反过来这种差异在分类学上决定着物种丰富度<sup>[18]</sup>。研究结果也说明物种丰富度分布的垂直结构中,灌木层植物受影响的程度明显大于草本层。

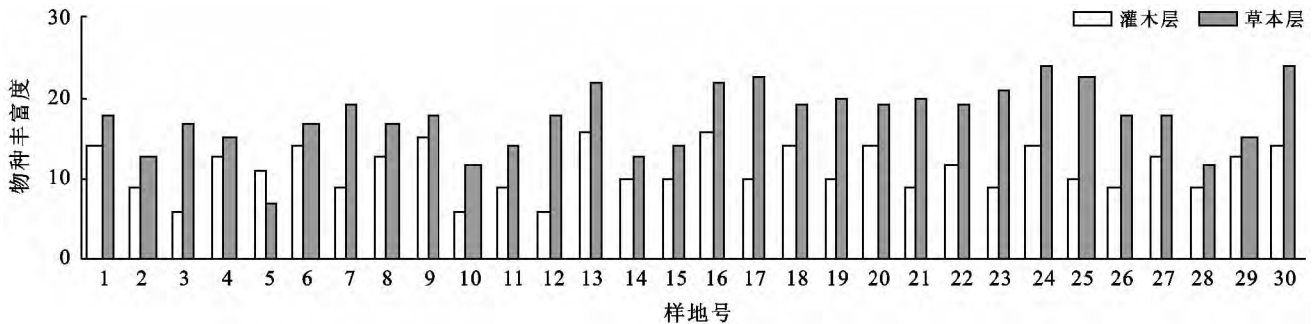


图 1 巨尾桉林灌木层与草本层物种丰富度比较

多样性指数  $D$  和  $H'$ 、均匀度指数  $JD$  和  $JH$  的变化规律是灌木层 > 草本层(图 2—5),这与物种丰富度  $S$  的变化趋势不一致。一般来说,物种丰富度  $S$  越高,相应的多样性指数  $D$  和  $H'$  越大,呈正线性相关。但巨

尾桉林草本层却存在反常现象,这主要是因为多样性指数不仅受到物种丰富度的制约,还受种间个体数量的影响以及各种植被类型的均匀度指数的影响,不同样方所处的立地条件也会对植物多样性产生影响。

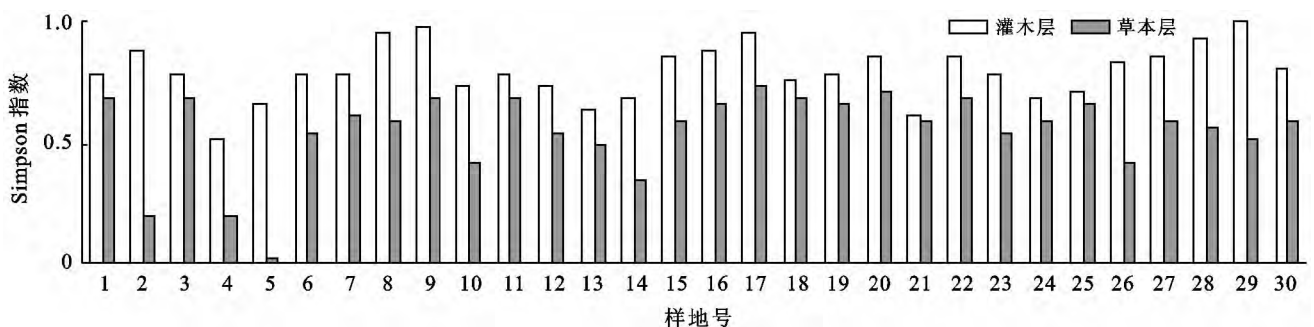


图 2 巨尾桉林灌木层与草本层 Simpson 指数比较

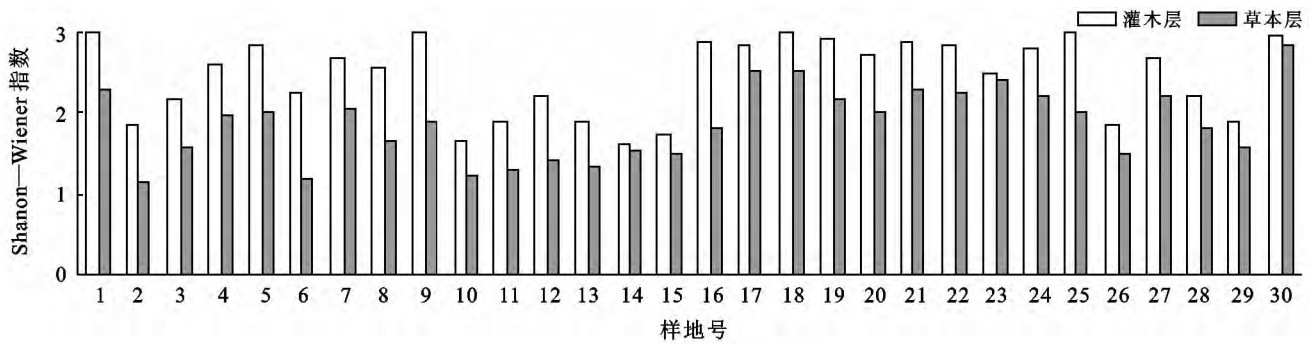


图 3 巨尾桉林灌木层与草本层 Shannon—Wiener 指数比较

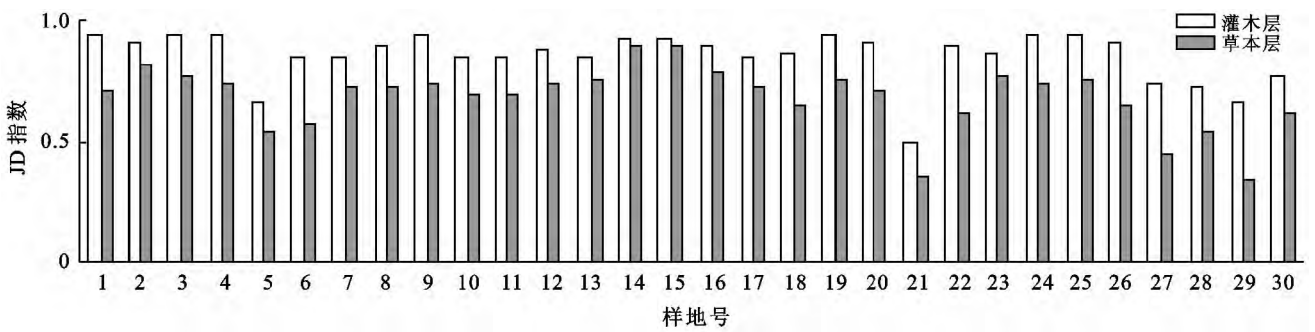


图 4 巨尾桉林灌木层与草本层均匀度指数(JD)比较

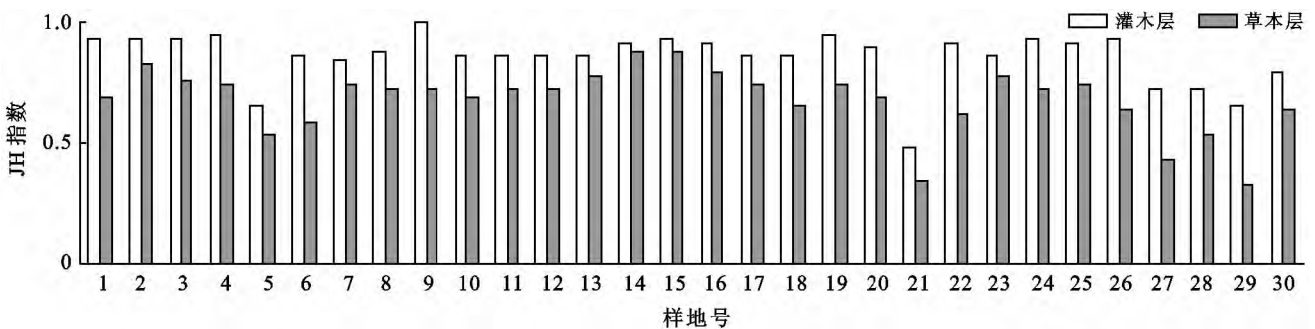


图 5 巨尾桉林灌木层与草本层均匀度指数(JH)比较

## 2.2 巨尾桉林地土壤肥力特征

土壤肥力的测定结果(表 2)表明,土壤类型虽均为红壤,但各样地之间、土壤剖面不同层次之间土壤肥力的差异还是比较明显的,且在腐殖质层、淀积层、母质层 3 个层次上均呈规律性变化。土壤水分的变化规律为母质层>淀积层>腐殖质层,有机质、水解氮、有效磷和速效钾含量的变化规律为腐殖质层>淀积层>母质层,随土层加深,土壤水分含量增加,而有机质、水解氮、有效磷和速效钾含量降低。土壤水分是表征土壤物理性质的一个重要参数,也是影响林木生长的重要因素,由于调查时间是在旱季(11 月),因此土壤水分含量为 10.53%~29.36%,明显偏低。有机质各层含量为 7.6~180.6 mg/kg,平均 61.4 mg/kg,参照全国第二次土壤普查土壤养分分

级标准,超过全国统一分级标准 1 级(>40 mg/kg)的水平。水解氮为 45.15~498.20 mg/kg,平均 201.25 mg/kg,达到了全国统一分级标准 1 级(>150 mg/kg)的水平。有效磷为 0.00~42.58 mg/kg,平均 3.97 mg/kg,与全国统一分级标准相比,仅为 5 级(3~5 mg/kg)的水平。有效磷在淀积层、母质层出现了痕量,即<0.02 mg/kg,表明巨尾桉林地缺磷或严重缺磷是这一类土壤的重要特征,林地都存在磷的潜在供应不足。速效钾为 19.80~285.20 mg/kg,平均 120 mg/kg,与全国统一分级标准相比,为 3 级(100~150 mg/kg)的水平。由此可见,研究区巨尾桉林地土壤具有有机质含量高,富含水解氮,有效钾中等,缺磷的土壤肥力特征。

表 2 巨尾桉林土壤肥力测定值

样方	层次	含水量/%	有机质/%	水解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	样方	层次	含水量/%	有机质/%	水解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
	A	13.52	18.06	440.80	2.70	285.20	A	15.27	12.45	485.52	2.30	210.30	
1	B	21.26	4.20	233.30	0.01	42.40	16	B	19.18	8.54	216.35	0.01	85.20
	C	25.45	3.34	171.30	0.00	39.40		C	22.47	2.87	160.40	0.01	125.15
	A	18.59	10.93	498.20	0.01	156.90		A	19.56	8.32	337.56	2.50	201.30
2	B	21.45	5.62	204.60	0.01	102.80	17	B	20.48	2.63	142.45	0.70	199.20
	C	26.58	1.90	113.90	0.00	40.00		C	23.53	1.40	92.40	0.30	131.50
	A	15.47	10.16	295.40	2.40	269.50		A	19.32	13.58	278.08	8.50	230.40
3	B	27.48	2.05	224.10	0.01	54.00	18	B	21.18	2.85	150.69	16.89	87.21
	C	29.36	1.06	76.40	0.01	48.60		C	24.35	1.45	91.40	3.76	139.78
	A	21.13	10.76	446.30	0.80	125.80		A	15.82	12.40	252.50	1.89	217.35
4	B	22.49	3.09	229.60	0.01	21.00	19	B	18.83	5.15	247.28	1.75	99.30
	C	27.53	9.79	378.70	0.00	86.80		C	19.94	3.16	113.70	1.23	46.12
	A	18.07	14.67	270.40	0.01	101.70		A	20.25	9.85	258.60	10.34	216.34
5	B	19.85	2.60	76.40	0.01	25.20	20	B	21.89	2.30	198.53	3.85	100.80
	C	23.26	0.96	59.30	0.00	27.70		C	23.36	1.26	86.82	4.02	85.65
	A	19.18	4.65	119.40	26.60	163.80		A	19.90	14.58	320.50	2.30	185.40
6	B	24.67	4.06	122.20	1.00	47.90	21	B	23.36	2.50	93.30	0.01	33.70
	C	28.12	2.70	53.70	0.10	52.40		C	25.39	1.44	111.50	0.00	19.80
	A	10.53	8.80	315.80	37.30	230.50		A	20.29	12.63	458.50	0.01	196.00
7	B	14.76	10.57	220.20	0.01	89.10	22	B	22.43	6.68	204.50	0.01	113.60
	C	20.16	4.87	80.40	0.00	133.20		C	27.18	3.45	113.50	0.00	51.35
	A	14.91	9.25	317.60	2.20	181.50		A	21.67	13.45	345.80	2.10	172.35
8	B	16.72	3.63	132.40	0.40	199.70	23	B	25.47	4.87	154.60	0.01	52.00
	C	19.88	1.40	90.70	0.01	136.50		C	26.38	1.69	88.00	0.00	41.56
	A	19.81	4.63	351.02	7.83	233.50		A	18.42	9.58	296.56	6.80	215.00
9	B	22.16	2.69	261.97	17.92	207.18	24	B	21.35	3.04	221.84	2.50	61.00
	C	23.89	1.34	81.27	2.73	133.83		C	24.19	1.56	58.60	0.20	85.40
	A	20.15	11.52	269.08	2.03	197.47		A	19.41	12.54	320.50	0.01	181.64
10	B	20.90	12.21	194.36	2.01	95.76	25	B	21.52	3.80	200.68	0.01	55.23
	C	23.26	4.17	122.80	1.99	36.99		C	28.04	0.76	78.30	0.00	27.18
	A	18.46	8.89	200.45	9.28	215.75		A	19.85	7.89	319.80	12.80	193.50
11	B	19.54	2.49	188.49	1.99	90.94	26	B	24.19	2.10	222.50	1.00	57.42
	C	22.73	1.21	46.95	2.09	72.78		C	27.53	1.50	53.86	0.10	62.40
	A	20.12	4.83	160.72	20.31	190.07		A	18.56	11.70	335.50	29.50	212.65
12	B	21.59	3.15	147.38	8.06	75.84	27	B	22.36	10.57	160.60	4.80	82.47
	C	24.37	1.44	45.15	7.32	68.25		C	27.51	5.62	80.20	0.70	131.30
	A	16.47	11.36	346.50	0.80	145.50		A	19.78	14.43	367.56	8.60	211.52
13	B	19.58	8.02	149.85	0.01	25.40	28	B	23.14	5.89	182.80	2.40	197.63
	C	23.16	1.79	78.70	0.00	96.50		C	24.91	2.48	100.53	0.40	86.47
	A	17.48	16.52	295.45	7.25	131.70		A	22.25	8.56	293.67	0.01	203.69
14	B	19.36	2.62	212.40	3.40	25.80	29	B	25.88	2.89	90.58	0.01	187.26
	C	21.18	0.96	67.65	1.06	29.50		C	26.93	1.47	45.30	0.00	93.57
	A	20.49	14.65	279.65	42.58	193.60		A	21.14	14.50	347.20	7.54	217.49
15	B	24.58	2.07	252.55	3.00	56.90	30	B	22.79	12.38	164.52	1.01	112.15
	C	26.89	1.70	67.70	0.10	52.40		C	24.45	3.25	97.90	0.80	46.69

注:A为腐殖质层;B为淀积层;C为母质层。

### 2.3 巨尾桉林下植物多样性与土壤因子的关系

分析巨尾桉林下植物多样性与土壤因子之间相关系数(表 3),结果表明,腐殖质层、淀积层和母质层的土壤水分含量、有机质含量与灌木层或草本层丰富

度指数  $S$ ,多样性指数  $D$  和  $H'$ ,以及均匀度指数  $JD$  和  $JH$  无明显相关。腐殖质层速效钾含量与草本层多样性指数  $D$  呈极显著相关( $p < 0.01$ )。淀积层速效

钾含量与灌木层多样性指数  $D$  呈极显著相关 ( $p < 0.01$ ), 水解氮与灌木层、草本层两种均匀度指数  $JD$  和  $JH$  呈极显著相关 ( $p < 0.01$ )。母质层各土壤因子含量与多样性指数无明显相关。

表 3 巨尾桉林下植物多样性与土壤因子相关性

土壤层	植被层	多样性指数	土壤水分/ %	有机质/ %	水解氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有效磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	速效钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
腐殖质层	灌木层	$S$	-0.081	0.030	0.157	-0.045	0.177
		$D$	-0.237	0.208	0.202	0.241	0.272
		$H'$	-0.168	0.110	0.289	-0.176	0.266
		$JD$	-0.244	-0.176	0.046	0.049	0.193
		$JH$	-0.217	-0.202	0.041	0.028	0.198
	草本层	$S$	-0.021	-0.082	0.151	0.005	0.295
		$D$	-0.146	-0.090	-0.105	0.149	0.782**
		$H'$	-0.064	0.214	0.294	-0.167	0.244
		$JD$	-0.292	0.027	0.080	0.044	-0.011
		$JH$	-0.292	0.038	0.076	0.058	-0.041
淀积层	灌木层	$S$	-0.148	0.048	0.026	0.247	0.211
		$D$	0.081	0.014	0.054	0.168	0.843**
		$H'$	-0.204	0.018	-0.029	0.174	0.105
		$JD$	-0.144	-0.102	0.773**	0.141	-0.063
		$JH$	-0.133	-0.083	0.788**	0.189	-0.036
	草本层	$S$	0.029	0.179	0.164	0.074	0.056
		$D$	0.008	0.060	0.209	0.241	0.296
		$H'$	-0.172	0.106	-0.136	0.073	0.234
		$JD$	-0.270	-0.086	0.685**	0.059	-0.169
		$JH$	-0.292	-0.057	0.650**	0.038	-0.189
母质层	灌木层	$S$	-0.174	0.028	0.099	-0.103	0.292
		$D$	-0.013	0.120	0.169	0.007	0.207
		$H'$	-0.106	0.118	0.223	-0.023	0.247
		$JD$	-0.039	0.079	0.157	0.109	0.101
		$JH$	-0.054	0.083	0.166	0.130	0.101
	草本层	$S$	0.028	0.025	0.119	0.064	0.206
		$D$	-0.117	-0.254	-0.195	0.174	0.28
		$H'$	-0.210	0.108	0.116	-0.119	0.265
		$JD$	-0.235	-0.056	0.179	0.080	-0.018
		$JH$	-0.255	-0.045	0.188	0.093	-0.030

注: \*\*  $p < 0.01$  极显著水平。

产生以上结果的原因主要是群落土壤表层有机质丰富,有机质在土壤中本底值已满足林下草本层和灌木层植物物种生长的需求,不构成限制因子,没有对林下植物多样性产生较大影响。在云南南部热带、南亚热带高原山地独特的地形和气候条件下,虽然在调查期间土壤水分明显偏低,但土壤水分含量不足以构成对林下植物多样性的限制因子,故腐殖质层、淀积层和母质层的水分含量、有机质含量与群落物种多样性相关性不强。另外,草本层和灌木层植物物种的根系多分布在腐殖质层、淀积层,植物物种吸收养分的主要土层是腐殖质层和淀积层,因此其多样性与腐殖质层和淀积层中水解氮、速效钾有关。母质层各土壤因子对于植物物种的生长和分布的影响较小,相关性不强。

### 3 结论

(1) 对巨尾桉林各样地草本层和灌木层的物种丰富度、多样性指数和均匀度指数的分析结果表明,各指数的变化趋势存在很好的一致性,草本层物种丰富度最高,而多样性指数  $D$  和  $H'$ , 均匀度指数  $JD$  和  $JH$  则是灌木层最高。这可能意味着林下草本层的植物优势种较明显,易形成单优种群,反映了南亚热带次生性草本植物适应性较强,在人工干预后很快进入新建群落,并形成优势,但草本层植物个体数分布不均匀。而灌木层优势物种不十分突出,并且不占绝对优势,但各物种株数在群落中分布较均匀,灌木多属原有成分,对生境要求较严格,在人为干预下,恢复较

次生性草本植物要缓慢。分析其原因首先是由于原造林地为刀耕火种的弃耕地,这种落后的农业生产方式破坏了原来的灌木或草本,种植巨尾桉后,草本植物无性繁殖能力较强,生长速度快,生命力极强,具有比较高的竞争能力,而灌木层植物无性繁殖能力较弱,生长缓慢,草本植物的良好发育限制了灌木植物的生长。

(2) 土壤系统是巨尾桉林生态系统的重要组成部分,土壤化学性质影响巨尾桉林的生长和林下植物物种的分布,进而影响巨尾桉林的生产力和林下植物多样性。调查区域各样地间土壤具有有机质含量高,富含水解氮,有效钾中等,缺磷的土壤肥力特征。土壤剖面各指标均呈规律性变化,土壤水分的变化规律为:母质层>淀积层>腐殖质层,有机质、水解氮、有效磷和速效钾含量的变化规律为:腐殖质层>淀积层>母质层。随土层加深,土壤水分含量增加,而有机质、水解氮、有效磷和速效钾含量降低,符合土壤肥力积累的空间分布特征。同时也反映了在云南南部南亚热带地区刀耕火种的弃耕地上营造巨尾桉林,随着大量凋落物在表层聚积,土壤有机质积累。水解氮、有效磷和速效钾含量没有下降的趋势,因为植被对土壤水解氮、有效磷和速效钾含量影响的最直接因素是通过凋落物归还到土壤中的有机质来实现的。

(3) 本文分析了土壤因子与林下植物多样性的关系,表征群落总体的各个多样性指数与各层土壤因子的关系不一致。腐殖质层、淀积层和母质层的土壤水分含量、有机质含量与灌木层或草本层丰富度指数  $S$ , 多样性指数  $D$  和  $H'$  以及均匀度指数  $JD$  和  $JH$  无明显相关,表明在研究区降雨量丰富,土壤水分含量大,有机质含量高,而不成为林下植物多样性的限制因子。也表明灌木层或草本层物种多样性受到土壤因子之外的环境因子影响较大,或者是受到本研究中未涉及到的土壤因子的影响。腐殖质层速效钾含量与草本层多样性指数  $D$  呈极显著相关;淀积层速效钾含量与灌木层多样性指数  $D$  呈极显著相关,水解氮与灌木层、草本层两种均匀度指数  $JD$  和  $JH$  呈极显著相关;母质层各土壤因子含量与多样性指数无明显相关。表明影响巨尾桉林下植物种类、数量和分布的主要因子为水解氮和速效钾,腐殖质层和淀积层速效钾影响到林下草本层和灌木层植物物种的生长和分布,淀积层水解氮影响到草本植物的生长和分布,本研究结果与杨再鸿等<sup>[13]</sup>在海南岛的研究结果基本一致。

(4) 本研究结果有助于我们深入了解巨尾桉林下植物多样性与土壤因子的关系,但二者之间关系的变化是一个动态过程,在不同的区域,产生的变化及其结果不一样。并且影响因素比较复杂,除了本文所

提到的土壤因子外,海拔、降雨量、坡度、坡向等环境因子也会对其产生影响,这些科学问题是我们下一步研究的重点。

#### [参 考 文 献]

- [1] 赵一鹤,杨时宇,周祥,等. 巨尾桉工业原料林与不同土地利用类型坡面产流产沙对比分析. 水土保持通报, 2012, 32(1): 77-78.
- [2] 韩艺师,魏彦昌,欧阳志云,等. 连栽措施对桉树人工林结构及持水性能的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4659-4617.
- [3] 赵一鹤,杨宇明,杨时宇,等. 桉树人工林多样性研究进展[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(5): 741-746.
- [4] 陈秋波. 桉树人工林生物多样性研究进展[J]. 热带作物学报, 2001, 22(4): 82-89.
- [5] 赵一鹤,杨宇明,杨时宇,等. 桉树工业原料林林下植物物种多样性研究[J]. 云南农业大学学报, 2008, 23(4): 506-512.
- [6] Lindenmayer D B, Hobbs R J. Fauna conservation in Australian plantation forests: a review[J]. Biological Conservation, 2004, 119: 151-168.
- [7] 肖德荣,田昆,张利权. 滇西北纳帕海高原湿地植物多样性与土壤肥力的关系[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3116-3124.
- [8] 杨万勤,钟章成,陶建平,等. 缙云山森林土壤速效 K 的分布特征及其与物种多样性的关系[J]. 生态学报, 2001, 20(6): 1-3.
- [9] 杨万勤,钟章成,陶建平. 缙云山森林土壤速效 P 的分布特征及其与物种多样性的关系研究[J]. 生态学杂志, 2001, 20(4): 24-27.
- [10] 宋创业,郭柯,刘高焕. 浑善达克沙地植物群落物种多样性与土壤因子的关系[J]. 生态学杂志, 2008, 27(1): 8-13.
- [11] Tilman D, Wedin D, Konops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems[J]. Nature, 1996, 379(22): 718-720.
- [12] Harrison S. Local and regional diversity in partly landscape: native, alien and endemic herbs on serpentine[J]. Ecology, 1999, 80(1): 70-80.
- [13] 杨再鸿,杨小波,余雪标,等. 海南桉树林林下植物多样性特点的简单相关分析[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(6): 725-730.
- [14] 李东梅,高正文,付晓,等. 云南省生态功能类型区的生态敏感性[J]. 生态学报, 2010, 31(1): 138-145.
- [15] 马克平. 生物群落多样性的测度方法(I):  $\alpha$ 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.
- [16] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法(II):  $\alpha$ 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [17] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 120-144.
- [18] 乔卿梅,程茂高,许天运,等. 南召宝天曼自然保护区青钱柳生长环境及土壤养分状况研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(31): 9927-9928.