不同密度大叶相思人工林林下植物和土壤特性

杨振意[1]，薛 晔[2]，薛 立[1]，许鹏波[1]，郭淑红[1]，张 柔[1]
(1. 华南农业大学 林学院，广东 广州 510642；2. 浙江工业大学，浙江 杭州 310023)

摘 要：对 3 种密度大叶相思人工林的林下植物和土壤特性进行了研究。结果表明，大叶相思人工林林下植物的总覆盖度为：低密度林分(1 667 株/hm^2)＞中密度林分(4 444 株/hm^2)＞高密度林分(10 000 株/hm^2)。林下植物总生物量呈现：低密度林分＞中密度林分＞高密度林分，低密度林分的灌木生物量最高，中密度林分的草本生物量最高。低、中、高密度林分的林下灌木层的 Simpson 多样性指数分别为 0.679，0.935 和 0.708，草本层分别为 0.837，0.678 和 0.789；灌木层的 Shannon—Wiener 多样性指数分别为 1.657，0.535 和 1.171，草本层分别为 0.904，1.228 和 1.064；灌木层的 Pielou 均匀度指数分别为 0.691，0.333 和 0.654，草本层的分别为 0.504，0.886 和 0.594。除有效 P 外，低密度和中密度林分的土壤特性优于高密度林分。

关键词：大叶相思人工林；密度；林下植物；土壤
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2013)03-0154-05 **中图分类号**：S791.27

Understory Plants and Soil Characteristics in *Acacia Auriculiformis* Plantations with Different Densities

YANG Zhen-yi[1], XUE Ye[2], XUE Li[1], XU Peng-bo[1], GUO Shu-hong[1], ZHANG Rou[1]
(1. *College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong* 510642, *China*; 2. *Zhejiang University of Technology, Hangzhou, Zhejiang* 310023, *China*)

Abstract: Understory plants and soil characteristics of *Acacia auriculiformis* plantations with three densities were studied. Results showed that the total coverage degrees of understory plants were in the order of low-density stand(1 667 trees/hm^2) > middle-density stand(4 444 trees/hm^2) > high-density stand(10 000 trees/hm^2). The total biomass of understory plants were in the order of low density stand > middle-density stand > high-density stand, and the shrub biomass of low-density stand and the grass biomass of middle-density stand were the greatest among the three stands. In the low, middle and high density stands, Simpson diversity indexes for shrub layer were 0.679, 0.935 and 0.708, and for grass layer, 0.904, 1.228 and 1.064; Shannon—Wiener diversity indexes for shrub layer were 1.657, 0.535 and 1.171 and for grass layer, 0.904, 1.228 and 1.064; and Pielou evenness indexes for shrub layer were 0.691, 0.333 and 0.654, and for grass layer, 0.504, 0.886 and 0.594, respectively. Except the available P, the soil characteristics of the low and middle density stands were better than those of high-density stand.

Keywords: *Acacia auriculiformis* plantation; density; understory plant; soil

生物多样性是生态系统持续发展和生产力的核心[1]，林下植物的多样性和丰富度对生态系统的功能如植物的生产力、养分循环等具有重要影响[2]，是生态系统多样性的重要组成部分[3]。随着人工林数量的增多，人工林生态系统生物多样性的研究，如间伐对林下植被和计划烧除对林下植被的影响等，逐渐引起人们的重视[1,4]，这些研究表明，人为干扰引起的林下光照、生存空间、土壤及枯落物变化等对林下植被的数量和结构有重要的影响。刘玉宝[5]、苏宗万等[6]、陈彩虹等[7]分别对杉木林、福建柏林、湿地松等 4 种人工林林下植物与土壤特性的研究结果表明，林下植物的发育与土壤特性具有相关性。土壤是植物生长的基质，土壤理化性质对林下植被的发育有重要影响，而林下植被能促进营养元素在地表的富集作用，通过吸收养分，促进枯枝落叶的分解，改善土壤理化性质。大叶相思(*Acacia auriculiformis*)是含羞

收稿日期：2012-04-10 **修回日期**：2012-07-22
资助项目：广东省林业局资助项目“林分改造优良乡土阔叶树种筛选”(F09054)
作者简介：杨振意(1987—)，男(汉族)，山东省乳山市人，硕士，主要研究方向为森林培育和树木生理学。E-mail：691514703@qq.com。
通信作者：薛立(1958—)，男(汉族)，湖南省桃江市人，教授，博士，主要从事森林培育和森林生态研究。E-mail：forxue@scau.edu.cn。

草科的速生常绿乔木树种,也是我国广东优良的改土树种和主要造林树种。虽然对大叶相思种子萌发[8],幼苗光合参数[9]、耐寒性[10]和人工林土壤 CO_2 通量变化[11]有过一定的研究,但是,尚未见到不同种植密度大叶相思林中林下植物状况的报道。本研究探讨大叶相思林的密度对林下植物的影响和物种多样性的维持机制,为森林生物多样性保护和森林的可持续发展提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验林概况

研究地点位于广东省惠州市惠城区小金口镇,地理坐标为 23°11′N,114° 25′E,属南亚热带季风气候,土壤为赤红壤。2003 年 4 月按常规方法测定了试验林的土壤物理性质,各项指标为土壤容重 1.51 g/cm^3,毛管孔隙度 35.92%,非毛管孔隙度 8.15%,总孔隙度 44.07%,自然含水量 14.18%,毛管持水量 23.79%。同年 4 月营造密度为 1 667(低密度),4 444(中密度),10 000(高密度)株/hm^2 的大叶相思幼林,造林用幼苗高度约 1 m。

1.2　调查取样方法

2010 年 7 月,分别在不同密度的大叶相思林下设置了 5 个 2 m×2 m 的样方调查林下草本和灌木的植物种类和盖度,并采用样方收获法,分别对样方内的灌木和草本的地上部分生物量进行测定。按常规方法在各样地内分别取土壤环刀样品,参照文献[12]的方法测定土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度、自然含水量、毛管持水量;按 5 点取样法采取 0—20 cm 深的土样 1 kg,混合均匀,带回实验室,按文献[12]的方法测定土壤有机质含量、土壤全量和有效 N,P,K 养分。每个土样做 3 次重复测定,取平均值。

1.3　植物多样性的计算

植物多样性的计算公式如下[1,13]:

重要值:P_i=(相对密度+相对盖度+相对频度)/3

Simpson 指数:$D=1-\sum P_i^2$

Shannon—Wiener 指数:$H'=-\sum P_i \ln P_i$

Pielou 指数:$J=(-\sum P_i \ln P_i)/\ln S$

式中:S——丰富度指数,样方内物种总数量。

2　结果与讨论

2.1　大叶相思人工林的林下植物种类及覆盖度

由表 1—2 可知,3 种密度的大叶相思人工林下共有维管束植物 22 种,隶属于 14 科 19 属,整个林下植物种类不多。低、中、高密度林分的植物数量分别为 17,10 和 12 种。3 种密度林分内的草本数量相近,而低密度林分内的灌木种类约为中、高密度林的 2 倍。

表 1　不同密度大叶相思人工林下的植物种数　个

生活型	不同密度林分下的植物种		
	低密度	中密度	高密度
灌木	11	5	6
草本	6	5	6
总计	17	10	12

表 2　不同密度大叶相思人工林下植物种类及覆盖度

生活型	植物名称	不同密度林分下的盖度/%		
		低密度	中密度	高密度
灌木	秤星树(*AIlex asprella*)	20.0	0	6.0
	桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)	17.4	2.0	0
	三花冬青(*Ilex triflora*)	14.0	6.0	0
	九节(*Psychotria rubra*)	4.2	0.2	0
	石斑木(*Raphiolepis indica*)	1.4	0	0.4
	三桠苦(*Evodia lepta*)	1.0	0	6.4
	粗叶榕(*Ficus hirta*)	0.8	1.2	2.8
	了哥王(*Wikstroemia indica*)	0.2	0	0
	黑面神(*Breynia fruticosa*)	0.2	0.2	0.2
	酸藤果(*Embelia ribes*)	0	0	0.2
	罗浮买麻藤(*Gnetum lofuense*)	11.3	0	0
	鸡眼藤(*Morinda parvifolia*)	2.2	0	0
	小计	72.7	9.6	16.0
草本	芒草(*Miscanthus sinensis*)	5.6	6.4	2.2
	凤尾草(*Pteris multifida*)	3.4	1.6	1.4
	芒箕(*Gleichenia linearis*)	0	38.0	1.4
	海金沙(*Spora lygodii*)	1.2	0	1.0
	团叶鳞始蕨(*Lindsaea orbiculata*)	0.6	0	0.4
	半边旗(*Pteris semipinnata*)	0	0	0.2
	蔓生莠竹(*Microstegium vagans*)	0	0	0
	淡竹叶(*Lophatherum gracile*)	0	6.4	0
	牛白藤(*Hedyotis hedyotidea*)	1.2	0	0
	玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)	1.0	1.2	0
	小计	13.0	63.2	6.6
	总计	85.7	72.8	22.6

由表 2 可知,不同种植密度下,大叶相思人工林林下植物的总覆盖度为低密度林分>中密度林分>高密度林分,低、中、高密度林分的灌木的覆盖度分别为 72.7%,9.6%和 16.0%;草本分别为 13.0%,63.2%和 6.6%。低、中密度林分覆盖度相差不大,但是低密度的灌木树种覆盖度占优势,中密度下草本覆盖度占优势。低密度林分中秤星树、桃金娘和三花冬青等的覆盖度较大,中密度林分中芒箕、淡竹叶和

芒草等的覆盖度较大，表明低密度利于林下灌木物种的定居，中密度利于草本定居。高密度林分的覆盖度低，以灌木为主，其中秤星树、三桠苦和粗叶榕等覆盖度较大，说明高密度抑制了林下植被，特别是草本的定居。低密度林分光照较充足，能满足林下植物的需要，物种数量和覆盖度都相对较高，而中、高密度林分过早郁闭，林下光照弱，只有耐荫植物能够生长，所以植物数量较少。低密度林分的灌木生长繁茂，对草本遮荫严重，抑制草本的生长，所以草本数量较少；中密度林分的灌木稀疏，草本得到的光照相对较多，故生长良好；高密度林分郁闭度大，林下光照微弱，因而灌木和草本的覆盖度均低，结构较简单。

乔木是人工林中的主体[7]，林分密度是影响林木生长的重要因子[14]，直接影响到人工林群落的光、热、水分等生态因子的分配[15]。低密度林分的林下光照较多，有利于林下植物，特别是灌木的发育，这与前人研究结果一致。例如苏宗万[6]研究表明随密度的增大，福建柏人工林林内的光照减弱，林下植被的平均高、覆盖度和生物量呈现出递减的趋势。刘玉宝[5]研究指出杉木林下植物多样性与密度显著相关，低密度林分的林下物种多样性较高。许多研究也表明，间伐通过减小林分密度改变了林下环境，增加了林下光照和土壤空间，降低了种间竞争，提高了林下环境的异质性，使得林下植物的覆盖度和丰富度增大[3-4]。

2.2 不同种植密度大叶相思人工林林下植物生物量

林下植物生物量是衡量林下植物状况的重要指标之一。由图 1 可知，低密度大叶相思林的林下植物总生物量明显大于中密度和高密度林分，中密度林分略高于高密度林分。灌木生物量表现为低密度最大，中密度林分略低于高密度林分。草本生物量为中密度最大，低密度次之，高密度最小。低密度林分的灌木生物量占林下植物总生物量的 84%，中密度林分的草本占林下植物总生物量的 70%，高密度林分的灌木与草本约各占 1/2。

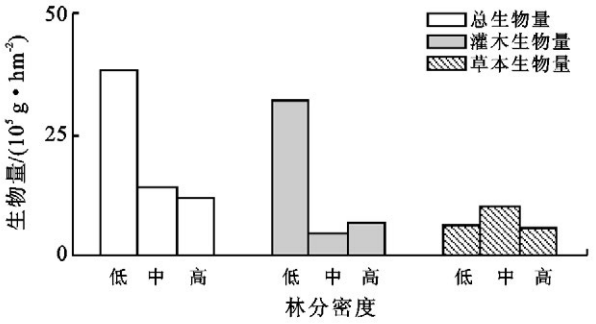


图 1 不同密度林分林下植物生物量

2.3 不同种植密度大叶相思人工林林下植物多样性指数

由图 2 可知，低、中、高密度大叶相思林下灌木层的 Simpson 多样性指数分别为 0.679，0.935 和 0.708，草本层的分别为 0.837，0.678 和 0.789；灌木层的 Shannon—Wiener 多样性指数分别为 1.657，0.535 和 1.171，草本层的分别为 0.904，1.228 和 1.064。Simpson 多样性指数被认为是能较好地反映林分优势度的指标，但该指数对稀有种反应的灵敏度较小[16]。

本研究中人工林林下植物种类较少，因此，Simpson 多样性指数较小。Shannon—Wiener 多样性指数被认为是一种能较好反映个体密度、生境差异、林分类型、演替阶段的指数[16]。本研究中，灌木的 Shannon—Wiener 多样性指数在低密度林分中最高，高密度林分次之，中密度林分最小；草本的 Shannon—Wiener 多样性指数在中密度林分中最高，高密度林分中次之，低密度林分中最小。Pielou 均匀度指数反映的结果与 Shannon—Wiener 多样性指数基本一致，低密度林分的灌木多样性远大于草本，中密度林分则相反。这表明低密度有利于灌木层的发育，抑制草本层的发育；中密度不利于灌木层的发育，而草本发育却较好；高密度人工林林下灌木和草本的多样性相差不大。

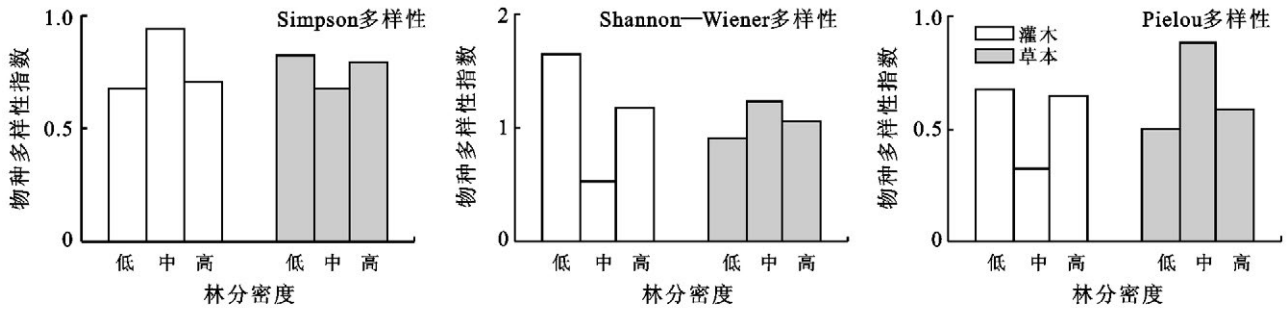


图 2 不同密度林分林下物种多样性指数

2.4　不同种植密度大叶相思人工林的土壤理化性质

由表 3 可知,大叶相思林土壤容重在高密度林分最高,中密度次之,低密度最低;中密度林分的毛管孔隙度显著大于低密度和高密度林分($p<0.05$),后二者之间差异不显著;低密度和高密度林分的非毛管孔隙度高,而中密度林分低;总孔隙度在低密度林分高,中密度林分次之,高密度林分低;低密度和高密度林分的自然含水量和毛管持水量显著大于高密度林分($p<0.05$)。与 2003 年的土壤相比,低密度、中密度和高密度林分土壤容重分别降低 23.8%,19.9%和 14.6%,毛管孔隙度分别降低 15.9%,3.6%和 17.0%,非毛管孔隙度分别升高 225.3%,143.7%和 62.1%,总孔隙度分别升高 28.7%,23.6%和 16.5%,低密度和中密度林分土壤的自然含水量分别升高 16.3%和 31.0%,高密度降低 16.4%,低密度和中密度的毛管持水量分别升高 11.0%和 20.6%,高密度降低 2.7%。在低密度和中密度林分的土壤容重相对较低,毛管孔隙度、总孔隙度、自然含水量和毛管持水量大,低密度林分的非毛管空隙度较大;与 2003 年相比,低密度和中密度的土壤容重、总孔隙度、自然含水量和毛管持水量改善程度也要大于高密度林分。总之,低密度和中密度林分的土壤物理性质优于高密度林分。

表 3　不同密度大叶相思林的土壤物理性质

林分	土壤容重/($g \cdot cm^{-3}$)	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	总孔隙度/%	自然含水量/%	毛管持水量/%
低密度	1.15±0.07a	30.22±1.56b	26.51±3.16a	56.73±2.52a	16.49±1.39a	26.41±1.90a
中密度	1.21±0.06a	34.61±2.24a	19.86±4.43a	54.48±2.37a	18.58±1.30a	28.69±1.01a
高密度	1.29±0.03a	29.81±0.92b	21.53±0.69a	51.34±1.27a	11.85±0.62b	23.14±1.27b

注:采用邓肯氏新复极差检验法(BMRT 法)进行多重比较,不同字母表示差异显著($p<0.05$)。下同。

由表 4 可知,不同密度下大叶相思人工林的土壤化学性质差异显著。低密度大叶相思林的土壤有机质、全 N、全 P、全 K、有效 N 和有效 K 均显著大于中密度林分,后者显著大于高密度林分($p<0.05$);高密度林分的土壤有效 P 显著大于中密度林分,后者显著大于低密度林分($p<0.05$)。

总体上,低密度大叶相思林的土壤养分状况最好,中密度次之,高密度最差。低密度下林下植物覆盖度和生物量较高,林下植物通过凋落物途径归还土壤表层,促进枯枝落叶的分解,归还土壤的养分元素相对较多,从而使得低密度林分下的土壤的理化性质明显优于中高、密度林分。

表 4　不同密度大叶相思林的土壤化学性质

林分	土壤有机质/($g \cdot kg^{-1}$)	全 N/($g \cdot kg^{-1}$)	全 P/($g \cdot kg^{-1}$)	全 K/($g \cdot kg^{-1}$)	有效 N/($mg \cdot kg^{-1}$)	有效 P/($mg \cdot kg^{-1}$)	有效 K/($mg \cdot kg^{-1}$)
低密度	38.22±0.14a	1.80±0.02a	0.32±0.00a	20.1±0.23a	132.1±1.37a	1.36±0.03c	62.2±0.82a
中密度	34.32±0.21b	1.67±0.00b	0.23±0.00b	18.3±0.10b	107.3±0.90b	1.60±0.03b	42.7±0.20b
高密度	25.28±0.21c	1.10±0.02c	0.16±0.00c	17.7±0.15c	79.6±0.90c	1.91±0.05a	29.4±0.06c

林下植被是人工林生态系统的一个重要组成部分,其发展变化影响土壤的发育,在促进人工林养分循环、系统稳定性和维护地力方面起着不可忽视的作用[7]。林下植被本身能促进养分元素在地表富集,并从土壤下层吸收养分,通过凋落物途径归还土壤表层,促进枯枝落叶的分解,再加上本身具有拦蓄地表径流和减少水土流失的作用[6],能够促进土壤的肥沃。张鼎华等[17]和于海群等[18]的研究发现,人工林间伐后,土壤微生物数量增加,酶活性增强和速效养分含量提高,认为间伐后林下植被生物多样性提高,进而诱发了土壤微生物多样性和数量的提高,增强了土壤的生物活性,加速了土壤养分的循环,最终引起林分土壤肥力有效性的增加。许松葵等[19]对不同种植密度大叶相思林幼林的研究表明,中、低密度林分利于土壤的物理结构改良和养分积累,而高密度林分由于林分快速生长消耗了较多 N,P,K,使得土壤物理结构相对较差,养分水平下降。苏宗万[6]也发现,低密度福建柏林的林下植被覆盖度和生物量比高密度福建柏大,土壤的理化性质也好,这与本研究结果一致。由于低密度林分林下植物的覆盖度及其生物量较大,其丰富的凋落物对疏松土壤起良好的促进作用,所以本研究中,随着林分密度的增加,容重增加,总孔隙减少。低密度林分的林下物种数量多,植物生物量大,凋落叶量丰富,有利于土壤养分的循环与维持[1],能够促进土壤有机质和养分的积累,因而土壤有机质、全 N、全 P、全 K、有效 N 和有效 K 均呈现低

密度林分＞中密度林分＞高密度林分。另一方面，植物根系对 P 有激活作用[20]。高密度大叶相思林的土壤有效 P 含量高，可能是因为其根系密度大，激活的有效 P 较多所致。

3 结 论

(1) 低密度下林下植物丰富度和多样性均较高，灌木占优势，中、高密度林分的林下植物种类较少，但是中密度林分草本数量较多，高密度林分的灌木和草本数量均少，说明低密度林分的林下光照较多，有利于林下植物，特别是灌木的发育。

(2) 中、低密度林分利于土壤的物理结构改良，而高密度林分土壤物理结构较差。随着林分密度的增加，土壤容重增加，总孔隙减少。

(3) 低密度林分的土壤有机质、全 N、全 P、全 K、有效 N 和有效 K 均呈现低密度林分＞中密度林分＞高密度林分，而高密度大叶相思林的土壤有效 P 含量高。

[参 考 文 献]

[1] 于立忠，朱教君，孔祥文，等. 人为干扰(间伐)对红松人工林林下植物多样性的影响[J]. 生态学报，2006，26(11)：3757-3764.

[2] Mccann K S. The diversity-stability debate[J]. Nature. 2000(405)：228-233.

[3] Dodson E K，Peterson D W. Dry coniferous forest restoration and understory plant diversity：The importance of community heterogeneity and the scale of observation [J]. Forest Ecology and Management，2010，260(10)：1702-1707.

[4] Wayman R B，North M. Initial response of a mixed-conifer understory plant community to burning and thinning restoration treatments[J]. Forest Ecology and Management，2007，239(1/3)：32-44.

[5] 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)：1-4.

[6] 苏宗万. 不同密度对福建柏林下植物和土壤肥力变化研究[J]. 华东森林经理，2007，21(4)：26-28.

[7] 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.

[8] 韦如萍，薛立，陈红跃，等. 稀土对马占相思和大叶相思种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 土壤通报，2009，40(4)：896-901.

[9] 赵平，孙谷畴，曾小平，等. 空气 NH_3 增高和不同氮源供应下大叶相思叶片光合参数的变化[J]. 生态学报，2003，23(7)：1386-1394.

[10] 张卫华，张方秋，徐大平，等. 三种相思树种的耐寒性评估[J]. 生态学报，2008，21(6)：842-846.

[11] 波高，张卫信，刘素萍，等. 西土寒宪蚓和三叉苦植物对大叶相思人工林土壤 CO_2 通量的短期效应[J]. 植物生态学报，2010，34(11)：1243-1253.

[12] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海：上海科学技术出版社，1978.

[13] 毛志宏，朱教君，刘足根，等. 间伐对落叶松人工林内草本植物多样性及其组成的影响[J]. 生态学杂志，2006，25(10)：1201-1207.

[15] 康冰，刘世荣，蔡道雄，等. 马尾松人工林林分密度对林下植被及土壤性质的影响[J]. 应用生态学报，2009，20(10)：2323-2331.

[16] 陈平，万福绪，顾汤华，等. 徐州石灰岩丘陵区不同人工林林下植物多样性研究[J]. 南京林业大学学报：自然科学版，2010，34(5)：23-28.

[14] 黄丽铭，薛立，王相娥，等. 不同密度下大叶相思幼林的生长和生物量分配格局[J]. 华南农业大学学报，2008，29(3)：52-55.

[17] 张鼎华，叶章发，范必有，等. 抚育间伐对人工林土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报，2001，12(5)：672-676.

[18] 于海群，刘勇，李国雷，等. 油松幼龄人工林土壤质量对间伐强度的响应[J]. 水土保持通报，2008，28(3)：65-70.

[19] 许松葵，王相娥，谢腾芳，等. 不同密度大叶相思幼林的土壤肥力[J]. 华南农业大学学报，2008，29(2)：79-81.

[20] 彭耀强，薛立，陈红跃，等. 东江流域阔叶混交幼林林地土壤养分变化分析[J]. 广东林业科技，2003，19(2)：5-8.