

文章编号: 1001-1498(2007)06-0768-07

云蒙山典型森林群落垂直结构研究

郑景明¹, 张春雨¹, 周金星^{2*}, 赵秀海¹, 余新晓³, 秦永胜⁴

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091; 3. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 4. 北京市林业局国际项目管理办公室, 北京 100029)

摘要: 采用以树冠光竞争高度为基础的林分垂直层数量化方法研究了云蒙山几种典型森林群落的垂直结构特征, 并将不同群落的垂直层划分结果与树高系统聚类分析结果相比较, 发现在森林群落垂直层划分过程中, 树冠光竞争高度附近的树被误划的几率较高; 截止系数 $a=0.4$ 时, 平均误划率最低, 为 10.10%。对几种森林群落结构指标相关性分析表明: 森林群落垂直分层数与乔木高度多样性指数、树高变异系数及乔木物种多样性指数呈显著正相关; 乔木高度多样性指数和树高变异系数与灌木层多样性指数呈极显著正相关, 而与草本层多样性指数却均呈显著负相关。几种描述林分垂直结构的指标能很好地描述森林群落的垂直分层情况, 同时森林群落的垂直结构对下层植物的物种组成具有重要影响。

关键词: 森林群落垂直结构; 树冠光竞争高度; 多样性指数

中图分类号: S718.54

文献标识码: A

Study on Vertical Structure of Forest Communities in Yunmengshan

ZHENG Jing-ming¹, ZHANG Chun-yu¹, ZHOU Jin-xing², ZHAO Xiu-hai¹, YU Xin-xiao³, QIN Yong-sheng⁴

(1. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China; 3. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry

University, Beijing 100083, China; 4. International Forestry Cooperation Center of Beijing Forestry Bureau, Beijing 100029, China)

Abstract: A stratification method of forest vertical structure was built based on crown cut-off height point (CCHP) in stand. Compared to the result by systematic clustering of tree height in the stand, stratification by the new method was validated, during the process of stratification of stand, tree height near the CCHP was easy to be classified wrongly, and the best classification results came from the process with 0.4 of competition coefficient used, in which the average rate of mis-classified trees was 10.10% in all nine plots. Besides the number of canopy layers (S_n), several other indices related with vertical structure were also calculated, i.e., Gini index (G_c), variants of tree heights (C_v), and biodiversity index of tree layer (H_t), shrub layer (H_s) and grass layer (H_g). The correlation analysis between those indices showed that there were common correlation existed among them, which indicated that S_n , G_c , C_v could be used to describe the vertical structure of forest stand properly and the complexity of vertical structure could influence the development of shrub and grass layer.

Key words: forest vertical structure; crown cut-off height point; diversity index

森林群落的垂直结构即森林高度上的层次性, 具体指构成群落的植物个体在垂直空间上的配置方

收稿日期: 2006-03-18

基金项目: 北京市教委项目“北京市森林生态系统健康研究 (GJSYS100220402)”, 北京市科委项目“北京山区森林健康经营关键技术研究 与示范 (D0706001000091)”, 北京市重点学科资助项目 (XK100220555)

作者简介: 郑景明 (1971—), 男, 黑龙江人, 博士, 主要从事恢复生态和入侵生态研究。

*通讯作者, zjqxy@forestry.ac.cn; Tel: 010-62889277

式。森林群落树冠的垂直成层性是林分的重要属性,直接影响树木的生长和下层植物群落结构^[1,2]。因此,对于森林垂直结构的定量描述和变化规律的研究具有重要的理论和现实意义^[3-5]。

在以往研究中,除了定性地描述森林群落的乔木层次外,对垂直结构的定量描述方法研究还很少^[5]。在一些定量划分垂直结构的研究中,垂直高度的划分通常采用等距离划定的方式^[1,2,6,7],但由于不同自然群落的高度分层不同,而且不同层次的物种数量受群落特征影响明显,划分结果与自然群落的层次分布存在一定的差异,因此受到学界的质疑^[8]。为了更好的量化群落垂直结构特征,本文采用树冠光竞争高度来划分森林群落垂直层次的方法,并通过测定云蒙山地区不同森林群落类型的垂直结构分析来验证该方法的可行性,旨在为客观科学分析森林群落的垂直结构提供一种新的分析途径。

1 自然概况与研究方法

1.1 研究区自然概况

云蒙山林区地处北京市密云县和怀柔县的交界处(116°40'~116°50' E, 40°26'~40°38' N),辖区内最高峰高达 1 413.7 m。该区属暖温带季风型大陆性半干旱气候,四季分明,年温差较大,春季(3—5月)干旱多风,夏季(6—8月)炎热多雨,秋季(9—11月)冷暖适宜,冬季(12—2月)严寒少雪。年日照总时数 2 802~2 842 h,占应照时数的 63.1%。年均气温 10.9℃,年均最高气温 17.2℃,平均最低气温 5.1℃,极端最高气温 40℃,极端最低气温 -27.3℃,生长期为 228 d。年均降水量 700 mm,主要集中在 6—8月,降水量占全年的 76%以上。云蒙山主要土壤类型在高山地带为山地棕壤,低山地带为山地褐土类淋溶性褐土;土壤质地砂壤,PH值呈微酸性反应。阳坡土层较薄,厚度一般为 10~30 cm,裸岩相对较多;阴坡土层较厚,厚度为 15~45 cm,土壤湿润肥沃,适合植物生长。

植被属于暖温带落叶阔叶林和常绿针叶林,由于人类活动的长期影响,原始植被破坏严重,现在的自然植被多为松栎林、杨桦林、胡桃楸(*Juglans mandshurica* Maxim)林和灌草丛群落,海拔 1 200 m 以上,原生植被由落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)林、云杉(*Picea koraiensis* Nakai)林演替为山顶杂草草甸和桦木林、杨桦林及部分人工种植的落叶

松林;海拔 800~1 000 m 阳坡和 600~800 m 的阴坡主要植被类型有:油松(*Pinus tabulaeformis* Carr)林、落叶松林、山杨(*Populus davidiana* Dode)林、紫椴(*Tilia amurensis* Rupr)林、白桦(*Betula platyphylla* Suk)林、胡桃楸林、蒙古栎(*Quercus mongolica* Fish ex Ledeb)林、黑桦(*Betula dahurica* Pall)林、枫杨(*Pterocarya stenoptera* C. DC)林、黄檗(*Phellodendron amurense* Rupr)林及北京杨(*Populus ×beijingensis* W. Y. Hsu)人工林等。

1.2 研究方法

1.2.1 树冠光竞争高度划分群落垂直层次的原理 在群落结构研究中,通常采用树木径级分组的办法划分群落层次,这样的方法被批评缺乏生态学意义,而提倡直接利用不同高度层的树木树冠高度进行分层^[6]。本文参考 Latham 等^[9]的森林群落垂直结构划分思想,提出根据树冠光竞争高度划分群落垂直层次的方法,并在云蒙山地区加以验证。森林群落中的乔木个体的高度和树冠长度不一,直接影响树木的叶面积和光合作用的产量。通常由于群落中光环境的异质性,1株树的主要光合作用发生部位在树冠的中上部,在其树冠下部几乎不发生光合作用^[9]。这个光合作用变化的高度点被称为树冠光竞争高度,可以用公式表示为:

$$CCH = a C_L + H_w \quad (1)$$

式(1)中:CCH为树冠光竞争高度, a 为截止系数, C_L 为树冠长度(即树高-枝下高); H_w 为枝下高。

根据实际观察和经验, a 通常为 0.3~0.5,即树冠上部的 2/3~1/2为树木的主要光合作用区域。在 2株相邻树木间,如果 2株树的光竞争区域处于同一垂直层次内时,树木会通过这部分树冠影响邻近的另 1株树的资源的获得(不仅仅是光,还会有其它方面间接作用),2株树之间就发生了竞争;而如果 2株邻近树木主要光合作用部位不在同一高度层次,则可以不考虑二者的竞争,而认为同一高度层次的树冠竞争是主要的。最终群落内所有相邻树冠的竞争会形成自然的群落枝叶高度层次。

根据这一思路,可以从树高最大并且树冠最长的树开始分析它与周围树木的竞争关系,从而实现对整个群落自然高度层次的区分。首先,将调查数据按树高及树冠长度进行降序排列,从树冠最长的最高 1株树的树冠光竞争高度作为第 1

层的树冠光竞争高度 CCH_1 , 枝下高大于或等于树冠光竞争高度的树划入第 1 层 S_1 中。其次, 当树高小于 CCH_1 时, 以剩余树木中具有最大冠长的最高树木重新计算第 2 层树冠光竞争高度 CCH_2 , 完成第 2 层 S_2 的树木筛选; 接着, 进行第 3 层 S_3 的树冠光竞争高度 CCH_3 的计算和树的筛选判别, 直到所有上层乔木都被划分完毕或达到预定最低限为止 (图 1)。

1.2.2 野外调查方法 选取 9 种典型的森林群落类型, 每种群落类型内设立 1 块 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 临时样地, 划分成 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 格子, 记录全部胸径 $>4\text{ cm}$ 的乔木个体在样地中的位置、胸径、树高、冠幅和枝下高, 同时, 在每个样地内设立 5 个 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的灌木样方和 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的草本样方, 分别记录灌木和草本的

物种名、多度、高度及盖度。9 块样地的基本情况见表 1。

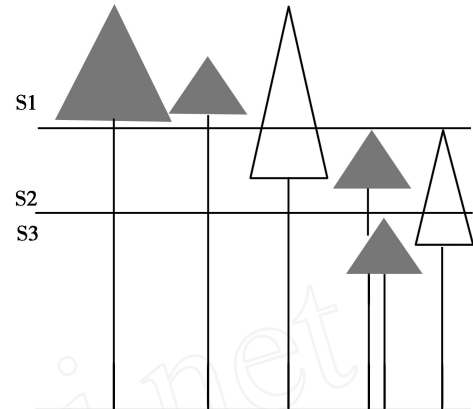


图 1 森林群落的数量化分层原理

表 1 调查样地概况

样地号	群落类型	乔木株数 / 株	海拔 / m	坡向	坡位	生境状况
1	核桃楸天然林	19	1 177	南坡	上位	良好
2	桦树 - 落叶松林	121	1 414	北坡	上位	良好
3	蒙古栎天然林	74	1 367	东南	上位	良好
4	桦树天然林	47	1 330	西北	下位	良好
5	山杨天然林	65	1 200	北坡	中上位	良好
6	紫椴天然林	67	1 100	北坡	中上位	良好
7	华北落叶松人工林	20	1 176	东坡	上位	良好
8	油松人工林	31	1 356	南坡	上位	良好
9	北京杨人工林	12	735	沟谷台地		良好

1.2.3 数据分析方法

(1) Gini 指数 (G_c) 是目前成功应用于树高不均等性测度的极少数指标之一^[10], 是样地中所有个体间某一测定指标成对比较的差值绝对值的算术平均, 其大小范围为 $0 \sim 1$, 本文用样地中测定的全部乔木的高度值计算 Gini 指数, 以表示树高指标的不均匀性, 也即群落的树高多样性。Gini 指数的计算公式为:

$$G_c = \frac{\sum_{i=1}^n (2i - n - 1) X_i / \sum_{i=1}^n X_i (n - 1)}{n} \quad (2)$$

式 (2) 中: X_i 为树高; i 为将树木按高度从小到大排序后的顺序; n 为树木个体总数。

(2) 树高变异系数 (G_v) 为样地中所有树高的标准差和平均值的比值, 反映垂直结构的变化程度^[9,10]。计算公式为:

$$Cv = 100 \times (s.d. / \bar{X}) \quad (3)$$

式 (3) 中: $s.d.$ 为标准偏差, \bar{X} 为平均树高

(3) 采用 Shannon-Weiner 指数计算乔木层、灌木层及草本层的物种多样性指数^[10], 计算公式为:

$$H = - \sum P_i \cdot \ln P_i \quad (4)$$

式 (4) 中: P_i 为样地同一层的第 i 物种的个体数占全部个数的百分比, 乔木层、灌木层和草本层分别计算。

(4) 每块样地内所有树木的系统聚类采用欧氏距离计算组间距, 组间聚类方法采用组间均连法。采用 PCORD 软件完成。

(5) 不同指标间的 Spearman 秩相关分析利用统计软件 SPSS 完成。

2 结果与分析

2.1 森林群落垂直高度分层分析

根据树冠光竞争高度划分群落垂直层次的原则, 利用样地的乔木调查资料划分云蒙山不同群落的垂直层次。下面以油松人工林为例来说明垂直结构的划分方法及林分垂直结构的特点。用公式 1 ($a=0.4$) 计算了各层的树冠光竞争高度, 将其作为垂直层划分指标, 共分为 4 层, 即 S_1 、 S_2 、 S_3 及 S_4 , 4 个垂直层依次分别包括 7、12、9 和 3 株乔木。最终

划分结果见图 2。

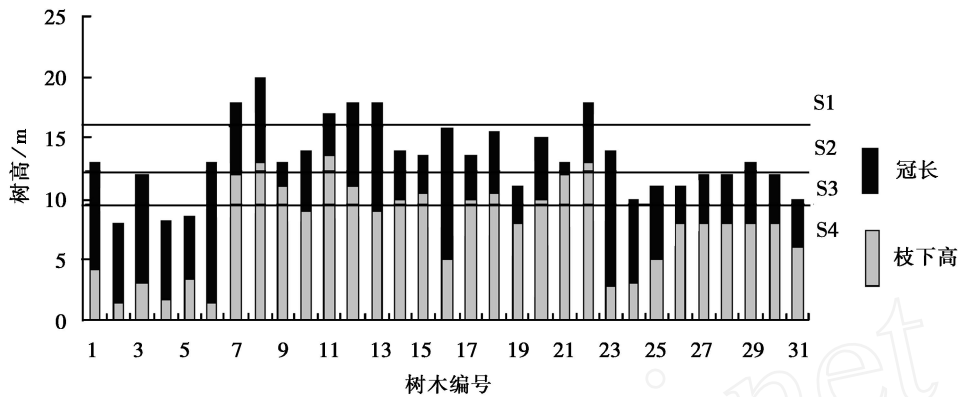


图 2 油松人工林群落垂直层次的划分结果

样地的实际高度分层,可以以样地内所有按照邻近关系调查的树木的系统聚类结果为参照标准,并结合实地观察确定。采用 PC-ORDER 软件对树高进行系统聚类,把聚类结果近似当作林分垂直层自然分布状态,将垂直层划分结果与聚类分析结果进行比较,来验证分层的客观性和可靠性。分别对 9 块样地进行聚类分析,得到各样地的垂直分布状

态图,这里选择样地中乔木个体数量为 31 株的油松人工林作为代表展示其聚类结果图,多数样地因树木数量过多聚类图巨大,限于篇幅不在此展示。根据树高聚类结果将样地内的树木分成 4 组,分别对应 4 个高度层,相当于上面划分的 S1、S2、S3 及 S4 层。

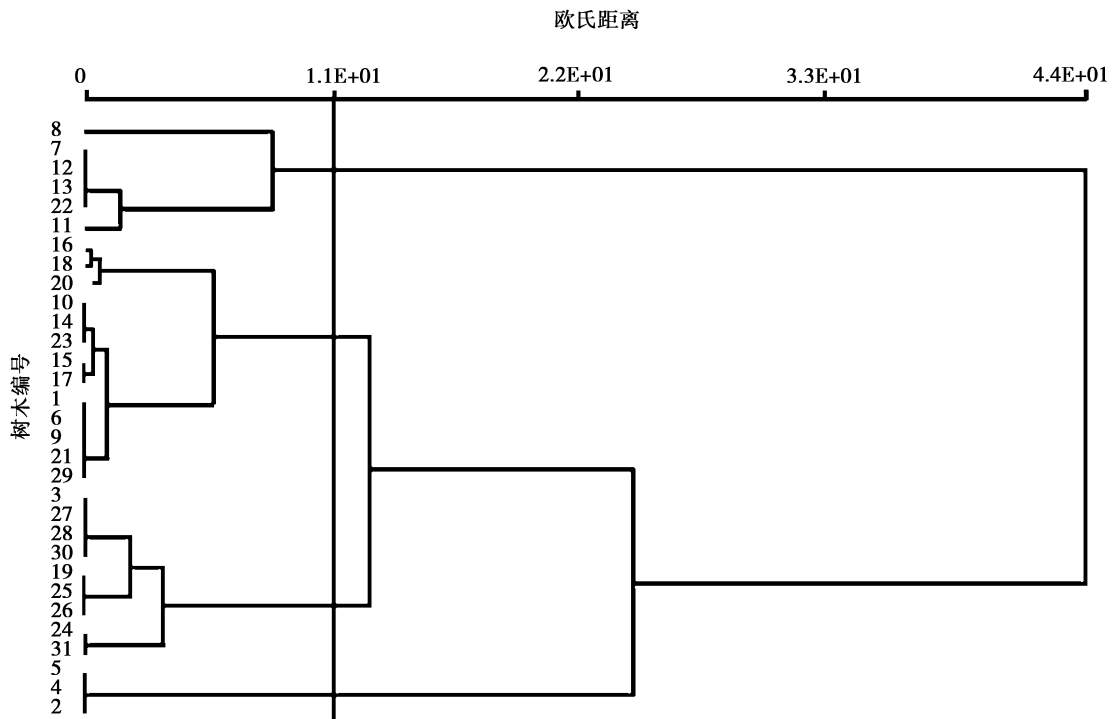


图 3 油松人工林基于树高的系统聚类结果

对比油松人工林样地的树高聚类分组结果和树冠光竞争高度方法的分层结果,多数树采用 2 种方法的结果都吻合较好,只有 18 号树由 S2 层被误划

入 S1 层中,误划率只有 3.23%。通过对 9 块样地的划分结果的对比分析可知,在垂直层划分的过程中被误划的通常都是竞争分离点高度附近的树,如油

松人工林中 S1 层的光竞争高度为 15.8 m,而被错划的 18 号树树高为 16 m,国外相关的研究也证明了这点^[9],其它各样地也存在类似的情况。油松人工林为 20 世纪 60 年代营造,群落结构受人为干扰较大,油松占乔木层总株数的 80.65%,平均高 14.1 m,主要分布在 S1、S2 和 S3 层;其余 6 株为黑桦和蒙古栎,占总株数的 19.44%,主要分布于 S3 和 S4 层。各垂直层次光竞争点高度分别为 15.8、12.5、9.6、5.5 m,垂直层平均间距为 3.1 m,从而形成高低错落的复层林结构。

2.2 不同截止系数对分层结果的影响

由于截止系数 a 是一个基于相关群落光环境研究和野外观察的经验值,采用不同的值对分层结果会有一定影响,因此,本文将 a 分别取值 0.33、0.40、0.50 进行对比研究。对每一块样地的乔木,都采用竞争分离高度点方法进行高度层次划分,并以上述方法进行验证,计算树木的错划率。

以紫椴天然林为例,采用不同的 a 值,样地中 67 株树木的层次划分结果如表 2。样地中共有 67 株乔木,按照上面的分层方法,截止系数 a 取 3 个不同值的情况下,不同乔木的层次归属出现不同的划

分结果。当 a 取 0.33、0.40、0.50 时,对照聚类结果(图略)和林地实际情况,共有 9、6、21 株乔木出现错划。

表 2 不同截止系数 a 对紫椴天然林层次的影响

层次	$a=0.33$		$a=0.40$		$a=0.50$	
	CCH1	株数/株	CCH2	株数/株	CCH3	株数/株
S1	8.31	31	8.80	30	9.50	20
S2	3.48	36	4.96	33	6.55	30
S3			2.78	4	3.95	16
S4					2.40	1

9 块样地的分层结果和误划率见表 3。由表 3 可知,系数 a 取 0.33 和 0.40 时划分的群落垂直层数目基本相同,而 a 取 0.50 时垂直层数划分结果偏大。将不同群落类型的垂直层划分结果与聚类分析结果相比较,系数 a 取 0.33、0.4 和 0.5 时,平均误划率分别为 14.57%、10.10% 和 17.53%。 a 取 0.4 时错划入其它垂直层的株数最少,误划率 < 17.36,而 a 取 0.5 时最多。由此可知,在本研究区域,采用树冠光竞争高度方法 ($a=0.4$) 进行垂直高度分层可以得到接近实际情况的垂直分层结果。

表 3 不同截止系数下垂直层划分结果比较

样方号	群落类型	分层数			误划率/%		
		$a=0.33$	$a=0.40$	$a=0.50$	$a=0.33$	$a=0.40$	$a=0.50$
1	核桃楸天然林	2	2	3	0.00	0.00	0.00
2	桦树-落叶松林	5	5	6	11.57	17.36	38.84
3	蒙古栎天然林	3	3	4	21.62	12.16	31.08
4	桦树天然林	3	3	3	10.64	12.77	8.51
5	山杨天然林	4	4	6	29.23	16.92	21.54
6	紫椴天然林	2	3	4	8.96	13.43	31.34
7	华北落叶松人工林	3	3	3	15.00	15.00	20.00
8	油松人工林	3	4	3	8.33	3.23	6.45
9	北京杨人工林	2	2	2	0.00	0.00	0.00

取不同的 a 值时,不同群落类型的反应也不尽相同。桦树天然林 $a=0.5$ 时可靠性最高,误划率仅 8.51%;桦树-落叶松林和紫椴天然林在 $a=0.33$ 时可靠性最高;蒙古栎天然林、山杨天然林及油松人工林则在 $a=0.4$ 时误划率最低;而核桃楸天然林、华北落叶松人工林和北京杨人工林在 $a=0.33$ 、0.4 和 0.5 时差异不大,可能与样地经过间伐后中上层树木稀疏,树冠彼此间竞争不甚明显有关。本研究只是作为初次的方法尝试,在本地区进行不同群落结构对比时可令 a 取 0.4 以便于比较;而未来进行

同一类群落的大量样地分析的时候,则应当首先确定该类群落的合理的系数 a 值。

2.3 森林群落不同结构指标相关性分析

虽然采用树高聚类的方式可以直接获得群落垂直结构的某些信息,但由于必须参照样地乔木实际分布情况进行判断,所涉及的工作量巨大,当样地数量众多时不可行;而通过本方法,可以很方便地利用常规调查数据分析群落的垂直结构分层情况。可以将此方法得到的垂直分层数目 (S_v) 作为一个重要的垂直结构指标,结合其它指标对不同群落的垂直结构进行定量描述。本文同时计算了各样地的另外 2

个与垂直结构相关的指标,即表征群落中树高多样性的 Gini 指数和树高变异系数;还计算了群落多样性的常用指标,即乔木层、灌木层和草本层的 Shannon-Wiener 指数。对垂直分层数目 (S_n)、Gini 指数 (G_c)、树高变异系数 (C_v)、乔木层物种多样性 (H_t)、

灌木层物种多样性 (H_s) 和草本层物种多样性 (H_g) 进行相关分析,因全部样地的各指标不满足正态分布,根据统计分析原理,采用 Spearman 秩相关分析,并进行 T 检验 (表 4)。

表 4 所有样地不同垂直结构指标间的 Spearman 秩相关分析

垂直结构指标	S_n	H_t	G_c	C_v	H_s
S_n	1.000				
H_t	0.501 (0.085)	1.000			
G_c	0.580* (0.051)	0.750** (0.01)	1.000		
C_v	0.632* (0.034)	0.783** (0.006)	0.967** (0)	1.000	
H_s	0.738* (0.012)	0.5 (0.085)	0.85** (0.002)	0.867** (0.001)	1.000
H_g	-0.158 (0.342)	-0.617* (0.038)	-0.683* (0.021)	-0.6* (0.044)	-0.383 (0.154)

注: * 在 $p < 0.05$ 水平上相关; ** 在 $p < 0.01$ 水平上相关。

从表 4 可见,树高多样性指数与树高变异系数相关系数高达 0.967,说明二者在描述森林群落垂直结构时体现了相同的结构特征。森林群落垂直分层数目与树高多样性指数和树高变异系数呈显著正相关,由于树高变异系数和 Gini 指数都是对森林群落垂直结构分化特征的描述,与表征森林群落垂直分层数的重要指标 S_n 显著正相关易于理解。灌木层多样性指数与群落垂直分层数、树高多样性指数和树高变异系数呈显著正相关。草本层多样性指数与乔木物种多样性指数、树高多样性指数和树高变异系数均呈显著负相关。森林群落垂直结构与下层植物群落 (灌木和草本层) 多样性指数显著相关,可能与上层林木垂直结构改变了下层植物群落的光照条件,从而影响到下层植物群落结构及组成有关。乔木物种多样性指数与树高多样性指数和树高变异系数极显著正相关。乔木层物种多样性越高,上层树木的年龄结构及树高分布也越复杂,森林群落的垂直结构指数 (G_c 、 C_v) 也就越大。

3 讨论

基于树冠光竞争高度的森林群落垂直分层数量化方法是比较客观的森林群落垂直分层方法。通常在森林群落调查中,只是主观地将群落分为乔木层、灌木层和草本层,很少有更详细的划分,缺少林分垂直结构方面的直观指标。在我国今后的森林可持续经营中,尤其是天然林保护中,更应关注天然林的结构和功能,对林分结构的描述必须成为调查的基本内容。

有关森林发育的理论已经指出,森林群落发育

过程中,由于竞争、树木死亡,下层树木和被压木的生长等,树冠的枝叶的垂直分布和叶面积的排列会发生规律的变化,而空间的异质性和干扰等环境因素也对群落复杂的垂直结构的形成具有一定作用^[11-14],同时影响森林群落垂直结构的因子也很复杂,这表明森林群落垂直结构的调查既有一定科学基础但同时也存在很多困难。以往研究中垂直高度的划分多采用等距离划分的方式,与群落层次的自然分布存在较大差异。近年来一种通过目测分层盖度结合无样地取样来构建林分结构多样性指标的方法得到应用^[15],这种方法易于操作但也存在一定的缺陷,如确定不同区域植被类型的层次标准还需要依靠经验。林分垂直结构特征与林分自然发展过程密切相关,因此将林分垂直结构纳入森林经营目标当中,找到一种能被广泛接受的量度方法具有重要意义^[15,16],而采用树冠光竞争高度方法进行垂直高度分层具有很好的启发意义和应用前景。

基于树冠光竞争高度的垂直分层方法,20 世纪 90 年代在美国的西北部温带森林调查中已经应用,并在此后的森林调查中得到推广并形成一套应用软件,但该方法也存在一定的问题和局限性。该方法并不能用于所有的森林群落类型和森林发育阶段,如演替初期树种竞争激烈,树木枝叶连续性非常高但不稳定的天然林类型^[9],对于主要由耐阴性树种组成的林分及一些特殊情况也不一定适用,目前其适用范围还有待进一步检验。另外,目前该方法采用的截止系数 a 还是个经验值^[9]。树冠光竞争高度受包括树种耐荫性在内的树种特征、林分物种组成、与相邻树冠间相互作用、环境限制及外界干扰等多

因素综合作用影响,国内目前相关研究的理论并不完善,对其具体相互作用的生理机制及生态学过程还需要进行大量的控制实验进行验证,以完善相关的理论基础和实用技术体系。

参考文献:

- [1] 韩玉萍,李雪梅,刘玉成. 缙云山森林群落次生演替序列的垂直结构与物种多样性的关系 [J]. 西南农业大学学报, 1999, 21(4): 391 ~ 396
- [2] 臧润国,杨彦承,蒋有绪. 海南岛霸王岭热带山地雨林群落结构及树种多样性特征的研究 [J]. 植物生态学报, 2001, 25(3): 270 ~ 275
- [3] 高宝嘉,张执中,李镇宇. 封山育林对昆虫群落结构及多样性稳定性影响的研究 [J]. 生态学报, 1992, 12(1): 1 ~ 7
- [4] 陈晓德,李旭光,王金锡. 绵阳官司河流域长江防护林的群落高度级结构分析 [J]. 植物生态学报, 1997, 21(4): 376 ~ 385
- [5] 雷相东,唐守正. 林分结构多样性指标研究综述 [J]. 林学科学, 2002, 38(3): 140 ~ 146
- [6] 郑德璋,廖宝文,郑松发,等. 海南岛清澜港红树林垂直结构与演变动态规律 [J]. 林业科学研究, 1995, 8(2): 152 ~ 158
- [7] 温远光,李信贤. 大明山退化生态系统的垂直结构及动态研究 [J]. 广西农业大学学报, 1998, 17(2): 160 ~ 167
- [8] 植声. 关于“海南岛霸王岭热带山地雨林群落结构及树种多样性特征的研究”一文中几个问题的讨论 [J]. 植物生态学报, 2001, 25(3): 381 ~ 384
- [9] Lathan P A, Zuuring H R, Cobel D W. A method for quantifying vertical forest structure [J]. Forest Ecology and Management, 1998, 104: 157 ~ 170
- [10] Weiner J, Solbrig O. The mean and measurement of size hierarchies in plant populations [J]. Oecologia, 1985, 61: 334 ~ 336
- [11] O'Hara K L. Dynamics and stocking-level relation of multi-aged ponderosa pine stands [J]. Forest Science (Suppl 42) Monograph, 1996, 33: 1 ~ 34
- [12] Oliver D C, Larson C L. Forest stand dynamics [M]. John Wiley & Sons, Inc. Oxford, 1996
- [13] Kohm A K, Franklin J F. Creating a forestry for the 21st Century - the science of ecosystem management [M]. Island Press: Washington D C, 1996
- [14] Lahde E, Laiho O, Norkkopi Y. Diversity-oriented silvicultures in boreal zone of Europe [J]. Forest Ecology and Management, 1999, 118: 223 ~ 243
- [15] 郑景明,罗菊春. 长白山阔叶红松林结构多样性的初步研究 [J]. 生物多样性, 2003, 11(4): 295 ~ 302
- [16] 臧润国,朱春泉,雷静品,等. 可持续框架下阔叶红松林区域生物多样性间接评价体系的研究 [J]. 生物多样性, 1999, 7(3): 189 ~ 196