

森林经营试验样地的数据调查与分析方法研究 ——以京西山地人工侧柏林为例

张弓乔, 惠刚盈*

(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)

摘要: [目的] 在林分空间结构描述方法的基础上, 大样地调查方法应用最广泛, 点抽样的调查技术也日趋完善。以京西山地人工侧柏林为试验样地, 应用完全随机优化设计方法布设小区。为尽量去除小区间的边缘变异效应, 需要对调查数据进行处理, 以提高森林经营试验的精度。 [方法] 逐渐缩小各小区的调查面积, 以探索最适宜该样地的小区间隔带距离, 之后逐渐减少调查小区的个数, 在 24 个小区中随机抽取 n 个小区, 分别重复 1 000 次, 找到不同隔离带大小时需要的小区重复个数; 以各小区中心点为抽样点, 调查距离各小区中心点最近林木, 当调查株数不同时分别重复 1 000 次, 最终找到不同调查林木株数需要的小区重复个数。通过验证京西山地人工侧柏林样地内小区重复次数与大样地林分状态的关系, 找到适合该样地的数据处理方法, 并改变小区隔离带大小或小区中心点最近林木株数, 分析其与大样地林分状态的关系。 [结果] 表明: 当小区间隔带为 2 m 时, 只需要 6 个重复即可达到 90% 以上概率与林分状态相似。当调查小区中心点的最近林木时, 调查 12 个小区内距中心点最近的 4 株木即可满足调查的要求, 或 6 个小区内各调查距中心点最近的 11 株林木。 [结论] 确定了京西山地人工侧柏林样地试验处理的小区间隔带距离与重复的关系, 也确定了在进行经营试验时只重复 6 次即可满足调查需求。

关键词: 森林经营; 数据处理; 空间结构参数; 试验重复

中图分类号: S750

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)04-0633-07

Data Investigation and Analysis Method for Forest Sample ——Case Study of *Platycladus orientalis* Plantation in West Hill of Beijing

ZHANG Gong-qiao, HUI Gang-ying

(Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China.)

Abstract: [Objective] To explore and optimize the method of investigation and analysis of forest sample data [Method] A *Platycladus Orientalis* plantation in West Hill of Beijing was used as a sample plot. The design of the experiment was carried out by using the complete random optimization design method. In order to remove the edge variability among the cells, the survey data need to be improved to reduce the accuracy for forest management experiment. This study includes the following two aspects. 1. Gradually narrowing the area of the survey area of cells, to explore the most appropriate distance among cells, then gradually decreased the amount of cells, select n cells in the 24 cells randomly and repeat for a thousand times, finally the number of repeat for different distance among cells were found. 2. Taking the center of cells as a sampling to survey different amounts of tree which are ordered by distance between the samplings, also repeating for a thousand times, and to determine the least amount needed for repeat of cells for different amount of trees. The study verified the relationship between the repeat times and the stand

收稿日期: 2016-07-14

基金项目: 基金项目: “十三·五”国家重点研发计划(2016YFD0600203)

作者简介: 张弓乔, 博士. 主要研究方向: 森林经营. 电话: 18618269161. E-mail: zhanggongqiao@126.com

* 通讯作者: 惠刚盈, 研究员, 博士生导师. 主要研究方向: 森林经营. 电话: 010-62888793. E-mail: hui@caf.ac.cn

status of several cells in *Platycladus orientalis* plantation in West Hill, and find the method to process the data of this plantation by changing the distance of cells or the amount of trees to analysis the relationship between cells and the whole sample plot. [Result] The results showed that when the distance between cells is 2 m, the probability could reach higher than 90%, when comparing the stand state by using 6 repeat, the probability will be even higher. However, 4 trees in 12 cells can meet the demands, or 11 trees in 6 cells. [Conclusion] This study not only confirmed the distance for cells, and also determined the minimum amount of repeats.

Keywords: forest management; data processing; spatial structure parameter; test repetition

森林经营是林业发展的永恒主题,森林经营的原理就是遵从自然规律进行既定目标的森林结构调整^[1-2]。森林结构影响林木之间的竞争、大小差异、更新、生长以及死亡^[3-5],并决定了森林的功能、健康程度和未来的发展^[6]。森林结构由空间结构和非空间结构组成^[7]。近年来,人们越来越重视通过调整林分的空间结构以发挥森林多功能作用^[1,7];而调整林分结构的前提是要充分了解经营林分的空间结构,所以,如果可以找到有效的林分试验设计方法,便可以提高森林经营试验的精度,减少误差。利用完全随机优化设计方法可以有效的减小林分不同处理间的林分状态差异^[8];而不论应用何种试验设计方法,都涉及到样地中小区的划分^[9-10],为减少小区边缘相邻木之间的影响,提高试验的准确性,可以在小区间设置合理大小的隔离带,或者采用抽样调查的方法以减小这种影响带来的误差。因此如何更好地利用林分调查数据,通过对数据的处理而获取有效的数据信息并进行分析显得尤为重要。目前,有关林分空间结构调查已有成熟的抽样调查方法,特别是基于相邻木关系的点抽样调查,由于其具有较高的工作效率、精准的数据测量以及受野外地形因子影响较小等优点^[11]被广泛应用。该方法在确保一定精度和可靠性的前提下,通过调查一定的样本量(抽样点数)就可以测算出整体林分的状态特征(空间与非空间结构参数)。

森林经营试验通常需要增加重复次数来提高试验精准度。利用全面调查数据和完全区组设计方法进行经营时,处理个数多于4~5个,一般需设置3~6次重复^[12];如处理间变异系数很大,则需要7~9次^[13];当处理数大于7或10时,最少需要重复3

次^[9]。抽样调查方法以抽样个数为试验重复,而根据抽样单元内距抽样点调查的株数不同又分为不同的方法,如6株木法是指测定距样点中心最近的6株木,并用这些样本单元的数值去估测整体林分的方法,用6株木法测定了落叶松人工林的蓄积量,估计精度在80%以上^[14],且易于操作、节省时间、受森林结构复杂性程度影响较小和受空间与林分大小的限制较小^[15]。在林分结构抽样调查中,当采用样点中心最近的4木^[11,16]为样本单元时,天然林林木空间分布格局调查时的最小样本量为49个点^[17],调查人工林空间结构最小样本量的研究还未见报道。因此,如何将样地数据调查分析更好地应用于森林经营试验,是该研究的主要内容,主要有以下几个方面:(1)确定试验小区间最合理的隔离带距离,确定隔离带不同时可满足试验要求的小区重复次数;(2)当对样地进行点抽样调查时,确定抽样点周围需要调查的最小株数(n)以及抽样点的个数等等。这些问题的解决有助于节约试验成本,提高研究效率,特别对于在环境条件相对一致且地段面积有限的林地上进行多因素试验尤为重要。

1 研究区概况

研究林分位于北京市门头沟区东南部的九龙山,属北京西部山系(115°59'~116°07'E,39°54'~39°59'N),海拔130 m,坡度20°。大陆性季风气候,年平均日照时数2 621.1h,年平均气温11.7℃,全年平均降水650.4 mm,主要集中在7、8、9月。土壤以山地棕壤为主。试验林分植于20世纪70年代。林分具体特征见表1。

表1 京西山地人工侧柏林林分特征

Table 1 The characters of *Platycladus orientalis* plantation in Beijing Xishan Mountain

平均树高 Mean height/m	平均胸径 Mean DBH/cm	林分密度 Number of trees/ (株·hm ⁻²)	树种组成 Species composition	郁闭度 coverage	断面积 Basial area/ (m ² ·hm ⁻²)	角尺度 Uniform angle index	大小比数 Dominance	混交度 Mingling
7.2	10.1	2 331	10 侧-其它	0.85	20.3	0.428	0.490	0.196

2 研究方法

2.1 数据调查和处理

在京西山地人工侧柏试验地内设置1个大样地(图1),分为24个面积为 $15\text{ m} \times 12\text{ m} = 180\text{ m}^2$ 的小区,依次编号(1~24号)。该林分计划施行包含4个处理的森林经营试验,分别为结构化森林经营、结构化森林经营与割灌、割灌和对照。利用完全随机优化设计方法将小区分为4组,每组6个重复。利用全站仪(Topcon_GTS600)对各小区的林木进行每木定位,测量每木的胸径、树高,并记录树种及其健康状况。各小区参数见表2。本研究中涉及到的林分空间结构参数计算和数据处理以及模拟抽取小区重复,均使用R语言编程软件完成。

当改变小区隔离带距离或利用点抽样方法分析数据时,各小区林分状态也相应改变,因此,需要重新确定最佳隔离带距离及相应的小区重复个数、点抽样林木株数和最佳抽样点个数。因此,本研究的

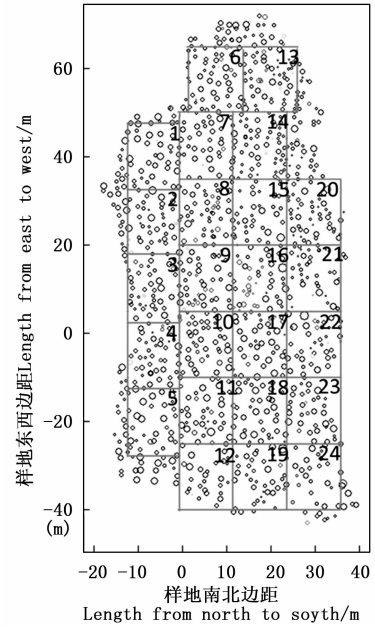


图1 大样地各小区布置及编号示意图

Fig. 1 Arrangement and plot numbers in the sample stand

表2 各小区基本生长参数和空间结构参数

Table 2 Basic parameters and spatial structure parameters of each plots

经营措施 Management	小区编号 Plots	平均树高(H) Mean height/m	平均胸径(D) Mean DBH/cm	角尺度(W) Uniform angle index	大小比数(U) Dominance	混交度(M) Mingling
结构化森林经营与割灌 Structure-based forest management and cutting brush	14	7.972	11.378	0.383	0.484	0.117
	15	6.189	8.972	0.452	0.473	0.069
	16	7.948	11.208	0.375	0.550	0.044
	17	7.828	10.975	0.431	0.475	0.169
	18	6.547	9.676	0.478	0.551	0.015
	7	6.955	9.164	0.425	0.528	0.179
割灌 Cutting brush	22	6.484	10.028	0.470	0.520	0.300
	13	7.002	9.809	0.441	0.516	0.245
	19	7.468	10.479	0.414	0.493	0.132
	6	7.321	10.444	0.419	0.512	0.285
	8	7.863	11.384	0.388	0.500	0.053
	2	6.602	9.515	0.447	0.441	0.351
结构化森林经营 Structure-based forest management	23	6.995	9.833	0.438	0.479	0.208
	9	6.356	8.573	0.459	0.514	0.150
	12	7.556	10.592	0.493	0.410	0.278
	1	7.581	10.272	0.424	0.483	0.355
	4	7.154	10.724	0.439	0.493	0.223
	5	7.062	9.752	0.417	0.494	0.161
对照 Control	20	6.987	9.804	0.428	0.478	0.256
	21	8.036	11.018	0.410	0.506	0.269
	24	6.037	8.410	0.474	0.513	0.051
	10	6.473	9.668	0.419	0.494	0.250
	11	7.458	9.991	0.461	0.472	0.261
	3	7.400	10.457	0.473	0.473	0.134

数据处理方法主要分为2部分:(1)小区数据为全面调查数据,逐渐增加各小区间的隔离带距离,缩小每

个小区的调查面积,找到最佳的隔离带大小;(2)只调查距离各小区中心点最近 $n(n=4\sim 12)$ 株的林

木,找到最佳调查林木株数。这2种方法都涉及到小区重复,而不同小区作为重复时,得到的结果存在差异,为了避免这种不确定性,在研究小区重复时,采取了随机抽取小区的办法,也就是在24个小区中随机抽取 m 个作为重复,计算各参数的均值并与样地真值比较,这个过程进行1 000次,统计这1 000次中满足条件的次数,当有90%或以上概率满足要求时,则认为结果是可靠的。

2.2 隔离带距离的确定方法

在本研究中将样地中小区设置为 $15\text{ m} \times 12\text{ m}$,对调查得到的数据进行分析时忽略各小区边缘一定范围内的林木,划定隔离带,增加小区间隔距离,以减小相邻小区间距离较近的林木相互影响。为了研

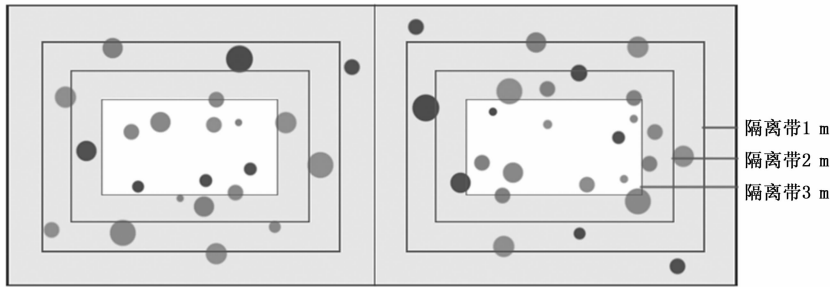


图2 小区间隔距离和调查面积示意图(图中灰色部分为小区隔离带,白色区域为进行数据与实验的核心区域)

Fig. 2 The distance of isolating neighboring plots (grey part are isolated area and the white part are core area for trial)

究小区间隔距离的最适距离,依次增大小区间的间隔距离(图2)。分别设置为1、2、3、4 m,小区的调查面积相应减小为 $13\text{ m} \times 10\text{ m}$ 、 $11\text{ m} \times 8\text{ m}$ 、 $9\text{ m} \times 6\text{ m}$ 、 $7\text{ m} \times 4\text{ m}$ 。计算所有24个小区不同隔离距离下的基本参数(胸径 D 、树高 H)与空间结构参数(角尺度 W 、大小比数 U 、混交度 M)均值并与大样地进行比较,其中,角尺度 W 的相似性以相同分布格局为准:当 $W > 0.517$ 时,林分为团状分布; $W < 0.475$ 时为均匀分布; W 处于 $[0.475, 0.517]$ 时为随机分布。混交度 M 为 $[0, 0.25]$ 、 $[0.25, 0.75]$ 、 $(0.75, 1]$ 时,分别为轻度混交、中度混交和强度混交标准,其它参数以相差10%以内为标准。在进行林分状态比较时,应用以上所有参数。

2.3 小区中心点最近林木株数的确定方法

当固定隔离带距离时,用计算机模拟的方法,随机在24个小区中选择 n ($1 \sim 23$)个小区作为重复,计算不同重复小区个数的林分基本参数和空间结构参数并与真值进行比较。当 n 取值不同时,分别进行1 000次随机模拟,以期找到在不同隔离带大小时最少的小区重复次数。

设置每个小区的中心点为抽样点,计算距离抽样点最近 n ($n=4, 5, \dots, 12$)株林木的基本参数与空间结构参数的平均值并与大样地林分状态比较。图3为调查 $n=4$ 株木为例的调查方法,以调查林木不重复为原则,黑色方块为小区中心点。在该样地中,横向为每隔12 m、纵向每隔15 m都有一个抽样点,其他株数的调查方法雷同。

当随机抽取 n ($1 \sim 23$)个小区时,为确定与样地林分状态基本一致的重复小区数,首先在24个小区中随机抽取任意 n 个小区(无重复),计算这 n 个小区各参数平均值并与大样地林分状态比较。调查不同株林木时各重复1 000次,以期找到最佳的小区重复次数。

究小区间隔距离的最适距离,依次增大小区间的间隔距离(图2)。分别设置为1、2、3、4 m,小区的调查面积相应减小为 $13\text{ m} \times 10\text{ m}$ 、 $11\text{ m} \times 8\text{ m}$ 、 $9\text{ m} \times 6\text{ m}$ 、 $7\text{ m} \times 4\text{ m}$ 。计算所有24个小区不同隔离距离下的基本参数(胸径 D 、树高 H)与空间结构参数(角尺度 W 、大小比数 U 、混交度 M)均值并与大样地进行比较,其中,角尺度 W 的相似性以相同分布格局为准:当 $W > 0.517$ 时,林分为团状分布; $W < 0.475$ 时为均匀分布; W 处于 $[0.475, 0.517]$ 时为随机分布。混交度 M 为 $[0, 0.25]$ 、 $[0.25, 0.75]$ 、 $(0.75, 1]$ 时,分别为轻度混交、中度混交和强度混交标准,其它参数以相差10%以内为标准。在进行林分状态比较时,应用以上所有参数。

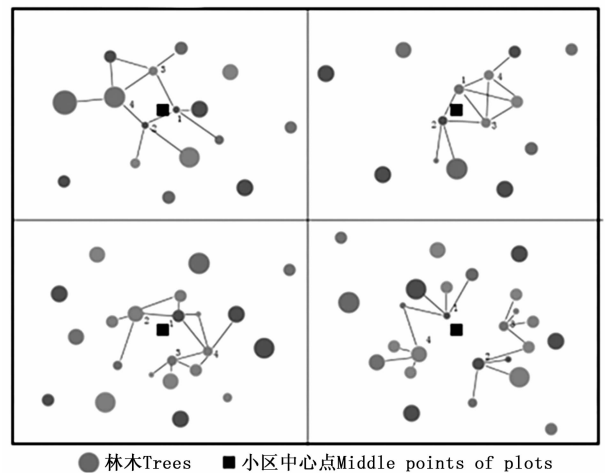


图3 调查距离中心点最近 n 株林木示意图(以 $n=4$ 为例)

Fig. 3 Method to investigate n trees around the middle points (for example as $n=4$)

3 结果与分析

3.1 隔离带的确定

3.1.1 隔离带大小对林分状态的影响 当隔离带由1 m增加到4 m时,小区的调查面积由 130 m^2 逐

渐减小至 28 m²,得到表 3 中 24 小区基本参数与空间结构参数均值。与大样地参数相差不大,说明当调查区域达到一定面积时,与大样地的基本参数、空

间结构参数有一定相似性,尤其当隔离带为 2 m 时最相近。

表 3 不同隔离带 24 小区基本生长参数与空间结构参数的均值

Table 3 Basic parameters and spatial structure parameters with different distance of isolating for 24 plots

隔离带 Distance/m	平均树高(<i>H</i>) Mean height/m	平均胸径(<i>D</i>) Mean DBH/cm	角尺度(<i>W</i>) angle index	Uniform	大小比数(<i>U</i>) Dominance	混交度(<i>M</i>) Mingling	平均剩余株数 Trees remained/株
1	7.054	9.975	0.469		0.489	0.176	30.2
2	7.180	10.181	0.434		0.490	0.193	21.1
3	7.225	10.128	0.426		0.491	0.194	12.6
4	7.218	10.043	0.430		0.491	0.200	6.5
大样地 Stand	7.200	10.100	0.428		0.490	0.196	—

由表 3 中数据与大样地数据得到的相对误差见图 4。在图 4 中,当小区间的隔离带设置为 2 m 或 3 m 时,基本生长参数和空间结构参数与大样地的相对误差均小于 5%,其中,当隔离带为 2 m 时,也就是当小区面积为 88 m² 时的相对误差最小。因此,进行全面调查时,小区间的隔离带应设置为 2 m。即相邻小区间的距离为 4 m。

表 4 模拟 1 000 次随机抽取 *n* 个小区时其林分状态与大样地相似的次数

Table 4 The number of times of similar stand state between *n* plots and sample stand when selected *n* plots randomly for 1 000 times

随机抽取 小区个数(<i>n</i>) Number of plots/个	隔离带距离 Distance of isolating/m			
	1	2	3	4
1	288	239	419	260
2	596	536	527	447
3	736	679	619	535
4	830	794	719	611
5	913	841	769	672
6	925	901	845	714
7	973	934	886	763
8	984	964	900	794
9	990	970	930	855
10	996	985	953	853
11	999	993	974	902
12	999	994	979	918
13	1 000	1 000	994	953
14	1 000	1 000	994	973
15	1 000	999	995	981
16	1 000	1 000	996	994
17	1 000	1 000	1 000	998
18	1 000	1 000	1 000	999

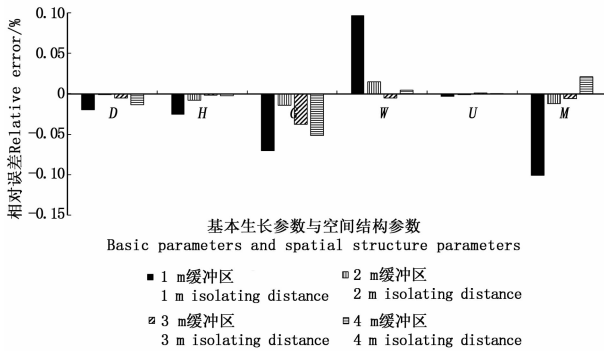


图 4 改变小区隔离带距离时基本生长参数和空间结构参数与大样地的相对误差

Fig. 4 The relative error between plots and stand of basic parameters and spatial

3.1.2 隔离带与小区重复 当隔离带大小不同时,需要不同个数的重复。当隔离带越小、核心调查面积越大时,需要的重复越少。当隔离带为 1 m 时,任意抽取 5 个小区作为重复即可达 90% 以上的概率与样地林分状态基本一致;当隔离带为 2 m 时也只需要 6 个重复;隔离带达到最大即 4 m 时,最多只需要 11 个重复。当重复个数达到 19 个或更多时,不论小区间的隔离带多大,均有 100% 的概率与林分状态相似。表 4 给出了不同隔离带时,1 000 次模拟随机抽取 *n* 个小区作为重复达到与样地林分状态相似的个数。当重复大于 19 个时,1 000 次随机抽取的结果都与大样地林分状态相似的。

3.2 距离中心点最近林木调查株数的确定

当改变每个小区点抽样附近株数时,得到的基本参数与空间结构参数也随之改变。表 5 为调查抽样点最近 4 株至 12 株林木 24 个小区均值的变化。将不同抽样结果的参数与大样地参数比较得到其相对误差。当选取的抽样点附近的树木过少时,误差相对较大,可达到 40%。当抽样点达到 4 个时,除了混交度(*M*)误差为 -12.24%,其余基本参数与空间结构参数其误差基本控制在 15% 以内。当抽样点达到 5 个时,误差可控制在 10% 以内,其中,以 6 株木为佳,其误差均在 5% 内。当改变小区中心点最

近调查林木株数时,得到的基本参数与空间结构参数也随之改变。

表5 距离中心点最近林木不同株数的基本生长参数与空间结构参数的变化

Table 5 The change of basic parameters and spatial structure parameters when investigating different number of neighboring trees around the middle points

调查株数 Number of trees/株	平均树高(H) Mean height/m	平均胸径(D) Mean DBH/cm	角尺度(W) Uniform angle index	大小比数(U) Dominance	混交度(M) Mingling
4	7.266	10.035	0.432	0.492	0.172
5	7.168	9.913	0.421	0.510	0.206
6	7.176	10.045	0.427	0.493	0.203
7	7.138	9.976	0.421	0.502	0.214
8	7.127	9.949	0.421	0.504	0.204
9	7.144	9.961	0.424	0.502	0.206
10	7.152	9.979	0.424	0.501	0.208
11	7.175	10.050	0.431	0.492	0.206
12	7.201	10.079	0.435	0.488	0.208
大样地 Sample stand	7.200	10.100	0.428	0.490	0.196

随后研究了当调查株数不同时需要的重复。随机抽取 $n(1 \sim 23)$ 个小区作为重复,统计模拟 1 000 次时其小区均值与大样地相似的概率(图 5)。随着调查株数的增多,需要的重复逐渐减少。当调查株数达到 6 株时,只需要 9 个小区即可与大样地林分状态相近;当达到 11 株或 12 株时,只需要 6 个小区即可。当重复的小区个数达到 22 个或更多时,不论每个小区调查的株数多少,都有 100% 的概率可以满足与大样地参数基本相似的要求。

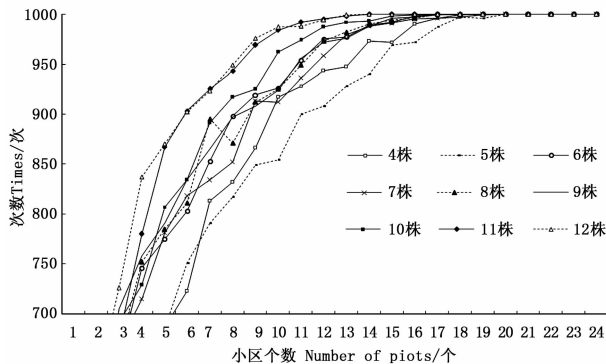


图5 距中心点最近林木株数和小区重复次数改变时林分状态与大样地相似的次数

Fig. 5 The number of times of the investigating results similar to the stand when changing the number of neighboring tree around the middle point or repeat times

调查不同株数时,林木代表的面积不同。一般来说,调查株数越多代表的面积越大,调查株数距离中心点最远的 1 株林木距离边缘也越近。研究统计了调查不同株数时距离各小区边界的距离,从表 6 可见:当调查株数逐渐增加时,距小区边界逐渐减

小。当调查 4 株时,第 4 株林木距小区边缘的平均距离约为 4 m,当调查林木增加至 10 株以上时,最后 1 株林木到小区边缘的平均距离约为 3 m。这从另一个方面反应出小区间隔的程度,说明 2 个小区间的隔离带只要小于 3 即可。在上文中将小区之间的隔离带设置为 2 m。

表6 不同调查株数时距离中心最远林木与小区边界的平均距离

Table 6 The distance between the farthest trees from middle points and edge of plots when investigating different number of trees

项目 Item	调查株数 Number of trees/株								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均距离 Mean distance/m	4.8	4.7	4.1	4.1	3.6	3.4	3.3	3.2	3.0

4 讨论

将小区的调查面积设置为 88 m^2 时,其基本参数与空间结构参数与大样地林分状态最为接近,其与大样地的误差均小于 2%,其中,角尺度(W)的相对误差只有 -0.14% 。将各小区调查面积设置为 88 m^2 ,以保证其与大样地林分状态基本相似,小区重复后的各参数与大样地相似度可达到 98% 以上,且只需要 6 个重复小区就可达到 90% 概率与样地林分状态相似。因此,在该林分经营试验中将小区间的隔离带设置为 2 m,也就是相邻的小区间距为 4 m。

当只对各小区中心点附近林木进行调查比较时发现,选取林木株数过少则误差相应增大,当选取树木达到 4 株时,小区各参数与大样地林分相似度达 85%;当抽样点附近树木达到 5 个时,小区各参数与

大样地林分相似度达90%,其中,以6株木为佳,小区各参数与大样地林分相似度达95%。当选取6株木为调查对象时,逐渐减少重复小区,开始相对误差变化较小,表明与林分状态仍很接近,直到重复小区减少到11块时,林分基本参数与空间结构参数与大样地误差均保持在5%以内;当重复小区继续减少时,误差开始明显增大,一些参数的相对误差可超过10%。当减少为7块小区时,误差可达到20%以上。若调查林木选取为11株以上时,只需要6个重复即可保证与大样地林分特征一致。

研究首先尝试了当设置小区之间的隔离带分别为1、2、3、4 m时,其各项参数与不设置隔离带的各小区的参数比较。显然,当隔离带逐渐增大、小区调查面积逐渐减小时,与其本身参数相近的小区个数越来越少。当隔离带为1 m时,只有1/3的小区偏离了原来的取值,而当隔离带增大到4 m时,只有1/3的小区没有偏离原来的取值。这一结果说明设置隔离带后并不能准确的表达小区原本的林分状态,而应设置重复。研究这个问题涉及到2个变量:隔离带的最佳距离和最少重复个数。本研究的结果也证实当小区隔离带过小为1 m时误差相对更大,2 m误差最小,重复6次最为适宜;而对距小区中心点最近林木的研究发现,当选取6个小区作为重复时,需要11株或更多林木,而距小区中心点最远的林木到小区边缘的平均距离约为3 m,这也从另一个方面说明,小区间的隔离带不能大于3 m。因此,对于该样地来说,应将小区间的隔离带设置为2 m,相邻小区间的间距为4 m。

在抽样调查中,分别研究了4株至12株的调查方法。从理论上分析,株数越多,调查覆盖面积越大,精度应越高,但从计算结果来看,7株至12株的效果并不比6株好,这可能是由于样圆过大时林木分布不均,林间空地、林道等多方面对其产生了影响。在调查较少株数时这种情况较少,而增大样圆面积无疑会增加这种情况发生的概率。这个结果与刘凤阁等^[20]的6株调查优于20株调查效果的结论相似。

5 结论

(1)将小区的调查面积设置为88 m²时,其基本参数与空间结构参数与大样地林分状态最为接近,其与大样地的误差均小于2%,且只需要6个重复小

区就可达到90%概率与样地林分状态相似。因此,在该林分经营试验中可将小区间的隔离带设置为2 m,也就是相邻的小区间间距为4 m。

(2)在对该样地进行抽样调查时,调查12个小区内距中心点最近的4株木即可满足调查的要求,或6个小区内各调查距中心点最近的11株林木。

参考文献:

- [1] 惠刚盈, von Klaus Gadow, 胡艳波, 等. 结构化森林经营[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007
- [2] v Gadow K, Zhang C Y, Wehenkel C, *et al.* Forest structure and diversity[M]. Dordrecht: Springer, 2006; 29–83.
- [3] Pommerening A, Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis[J]. *For Ecol Manage*, 2006, 224; 266–277.
- [4] Hui G Y, Zhao X H, Zhao Z H, *et al.* Evaluating tree species diversity based on neighborhood relationships[J]. *Forest Science*, 2011, 57 (4): 292–300.
- [5] Li Y, Hui G Y, Zhao Z, *et al.* The bivariate distribution characteristics of spatial structure in natural Korean pine broad-leaved forest [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2012, 23(6):1180–1190.
- [6] Pukkala T, v Gadow K, 2011 Continuous Cover Forestry. Book Series Managing Forest Ecosystems Vol 24[M]. Berlin: Springer Science + Business Media B. V.
- [7] 惠刚盈, 赵中华, 胡艳波. 结构化森林经营技术指南[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [8] 张弓乔, 惠刚盈. 基于林分状态特征的森林经营试验样地设计新方法[J]. *林业科学研究*, 2015, 28(2): 145–151.
- [9] 续九如, 黄智慧, 林业试验设计[M], 北京: 中国林业出版社, 1995: 3–61.
- [10] DC. 蒙哥马利. 实验设计与分析[M]. 汪仁官, 傅珏生, 张健, 等. 北京: 中国统计出版社, 1998: 173–187.
- [11] 惠刚盈, 克劳斯·冯佳多. 森林空间结构量化分析方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003
- [12] Lin C S, Binns M R. Working rules for determining the plot size and numbers of plots per block in field experiments[J]. *The Journal of Agricultural Science*, 1984, 103(1): 11–15.
- [13] 李新国; 续九如; 朱之梯. 林木田间试验适宜重复数和小区株数的研究[J], 北京林业大学学报, 1993, 15(4): 103–111.
- [14] 陈霖生. “六株木样地法”测定落叶松人工林蓄积量的实验[J]. *东林科技*, 1975(2): 48–55.
- [15] 鄯广平, 林辉, 孙华. 基于六株木法的杉木蓄积量估测研究[J]. *林业建设*, 2011(2): 10–14
- [16] Moeur M. Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data[J]. *Forest science*, 1993, 39(4): 756–775.
- [17] 徐海, 惠刚盈, 胡艳波, 等. 天然红松阔叶林林木分布格局研究的最小样本量[J]. *林业科学研究*, 2007, 20(2): 160–164.

(责任编辑: 詹春梅)