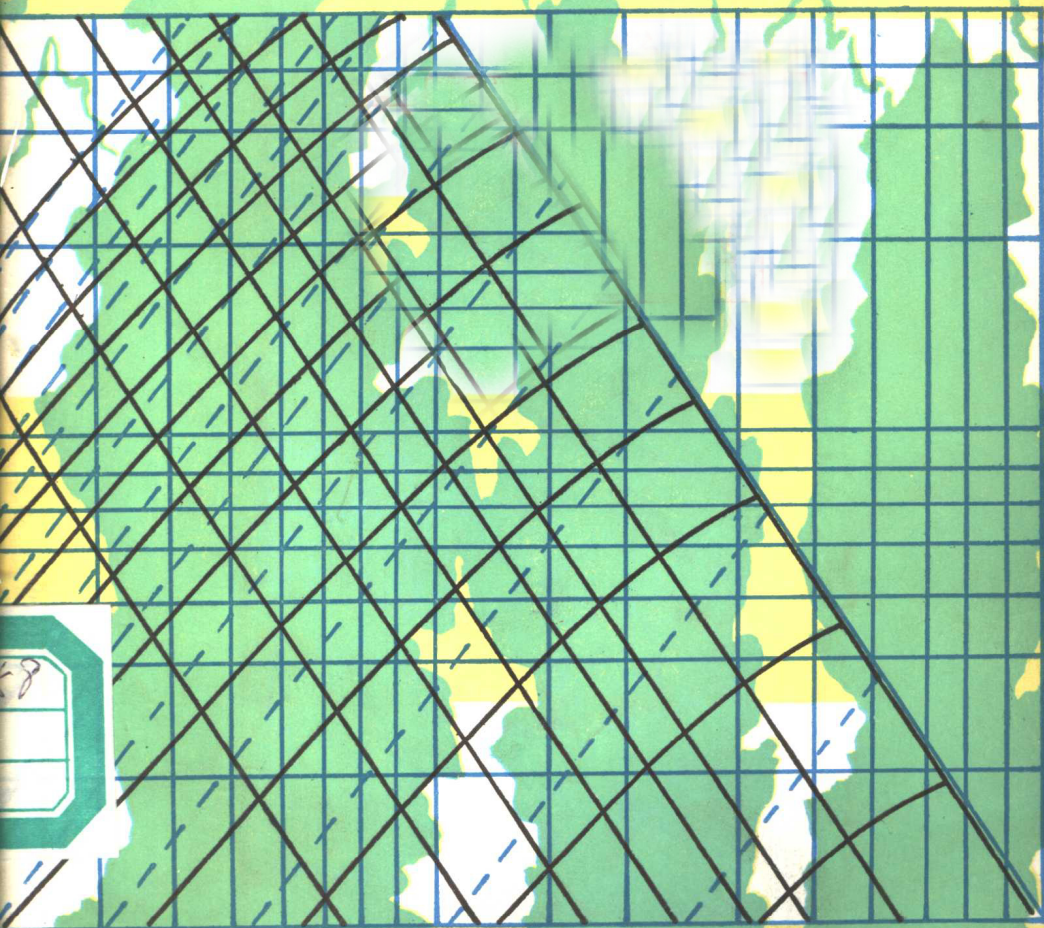


林分密度控制图

尹泰龙 著



中国林业出版社

林分密度控制图

尹泰九 著

封面设计 冯纪伟

林分密度控制图

尹泰龙 著

中国林业出版社出版 (北京朝内大街130号)
新华书店北京发行所发行 北京展望印刷厂印刷

850×1168毫米32开本 1.75印张42千字
1984年8月第1版 1984年8月北京第1次印刷

印数 1—5,000册

统一书号 16046·1171 定价0.30元



目 录

第一章 绪 言

- § 1.1 日本密度管理图 (1)
- § 1.2 美国密度控制图 (5)
- § 1.3 我国林分密度控制图 (11)

第二章 密度效应

- § 2.1 单产密度二次效应 (14)
- § 2.2 单产密度倍半效应 (19)
- § 2.3 单产密度一次效应 (23)
- § 2.4 直径密度倒数效应 (26)

第三章 密度控制图的编制

- § 3.1 基础数据 (27)
- § 3.2 等树高线 (32)
- § 3.3 等疏密度线 (37)
- § 3.4 等初始密度线(自然稀疏线) (38)
- § 3.5 等直径线 (40)
- § 3.6 精度与适用性检验 (43)

第四章 密度控制图的应用

- § 4.1 使用说明 (45)
- § 4.2 应用范围 (47)

参考文献

第一章 绪 言

林分密度控制图是根据密度效应法则编制的一种森林经营图。主要是用来控制林分各生长阶段上的立木密度，以达到森林经营的多种预期目的。

密度控制图作为一种集约经营的重要工具，在日本、美国和我国，都开始应用于定量间伐和产量预估等方面。

编制密度控制图，则须了解密度效应法则，收集有关基础数据，掌握编制步骤和方法，如果只想使用密度控制图，则掌握使用方法和应用范围就够了。

§ 1.1 日本密度管理图

60年代，日本林学家们用生物生态学观点，研究人工针叶林产量与立木密度间的数量关系，编制出日本落叶松、赤松、扁柏和柳杉等人工林密度管理图，已应用到生产上。

日本密度管理图，是把吉良龙夫等（1953年）在一年生草本植物群落中发现的密度效应法则，应用到多年生木本植物群落——同龄针叶纯林中，针对林分生长的每个阶段，提出平均单株材积（ v ）、平均胸高断面面积（ g ）、单位面积蓄积量（ V ）等平均个体或群体的大小与立木密度（ N ）之间关系的数学模型，即密度效应倒数模型：

$$v^{-1} = AN + B \quad (1.1.1)$$

$$g^{-1} = A'N + B' \quad (1.1.2)$$

$$V^{-1} = A + BN^{-1} \quad (1.1.3)$$

式中, A 、 B 、 A' 、 B' 是随林分生长阶段而变化的参数。

密度效应倒数法则是指标分生长的同一阶段上:

1) 平均单株材积和平均胸高断面面积随着立木密度的增加而变小, 最终趋于零的规律, 即在直角坐标系中呈双曲线(见图1.1.1和1.1.2)。

2) 单位面积蓄积量随着立木密度的增加而变大, 最终收敛于恒定值 $\frac{1}{A}$ 的规律, 即在直角坐标系中也呈双曲线(见图1.1.3)。

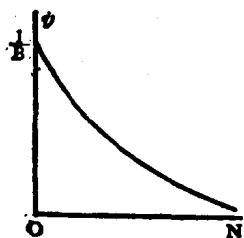


图 1.1.1

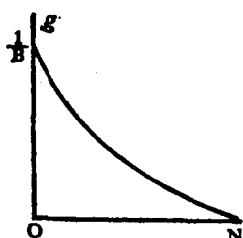


图 1.1.2

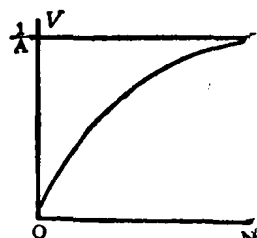


图 1.1.3

密度效应倒数法则, 不仅适用于接近孤立木状态的低密度林分, 而且还适用于处在竞争状态的高密度林分。

密度效应倒数模型中的参数 A 、 B 、 A' 、 B' 都可用树高 H (作为生物时间的尺度) 的幂函数表示 (安藤 贵):

$$A = a_{11}H^{b_{11}} \quad (1.1.4)$$

$$B = a_{12}H^{b_{12}} \quad (1.1.5)$$

$$A' = a_{21}H^{b_{21}} \quad (1.1.6)$$

$$B' = a_{22}H^{b_{22}} \quad (1.1.7)$$

针对林分内林木竞争的每一状态, 提出密度效应乘幂模型:

$$v = KN^{-a} \quad (1.1.8)$$

$$V = KN^{1-a} \quad (1.1.9)$$

式中, a 是随林分竞争状态而变化的参数, 在闭区间 $[0, 1]$ 上取值。

当林分内无竞争时, 平均单株材积不随立木密度而变化, 即 $a=0$ (见图 1.1.4), 当林分内的竞争被激化时, 单位面积蓄积量趋于恒定, 即 $a=1$ (见图 1.1.5)。因此, 称模型参数 a 为竞争密度指数。

密度效应乘幂法则是指林分的同一竞争状态下:

1) 平均单株材积随立木密度的增加而变小的规律, 服从幂函数方程。竞争愈烈, 幂指数的绝对值愈大, 平均单株材积收敛于 0 的速度愈快 (见图 1.1.4)。

2) 单位面积蓄积量随着立木密度的增加而变大的规律, 也服从幂函数方程。林分内的竞争愈烈, 幂指数的绝对值愈小, 单位面积蓄积量收敛于恒定值 K 的速度愈慢 (见图 1.1.5)。

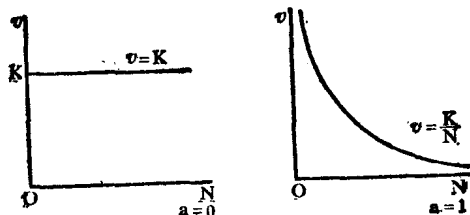


图 1.1.4

密度效应乘幂法则, 只适用于有竞争的高密度林分。

在林分生长过程中, 往往由于立木之间的竞争而产

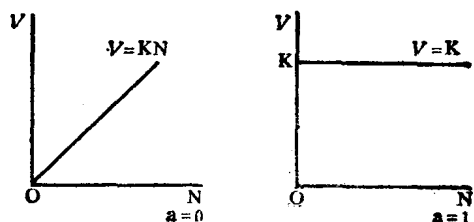


图 1.1.5

生自然稀疏现象。于是，对应于每个生长阶段，都有一个确定的上限立木密度。

针对上限立木密度 N^* ，平均单株材积 v^* 的林分，依田等（1963年）提出最多密度模型

$$v^* = cN^{*-d} \quad (1.1.10)$$

式中， c 和 d 是随树种而变化的参数。因为参数 d 的取数常常接近于 1.5，所以又称（1.1.10）式为 3/2 次方法则。有时也称为特性曲线、满密度曲线、自然稀疏线、最多密度线等等。参数 d 的取值，阳性树种接近于 1.5，阴性树种大于 1。

根据密度效应倒数法则和 3/2 次方法则，由只木良也（1963年，1964年）、安藤 贵（1968年）和相场芳宪（1975年）分别编制出三种形式的密度管理图。一是关于平均单株材积与立木密度之间关系的密度管理图；二是关于单位面积蓄积量与立木密度之间关系的密度管理图；三是平均树高—平均直径—立木密度—单位面积蓄积量关系图。

1. 关于 $v-N$ 的密度管理图（只木）

该图是由如下要素组成的：

1) 标有 6—24 米的曲线。它们是表示各树高阶的林分平均单株材积与立木密度之间关系的等树高线。

2) 标有 6—40 厘米的曲线。它们是表示各直径阶的林分平均单株材积与立木密度之间关系的等直径线。

3) 最上方的斜线。它是最多密度线（3/2次方法则线）。

4) 最多密度线的平行线。它们是以上限立木密度为基准，表示疏密程度的管理基准线。

5) 上端与最多密度线相切的竖向曲线，它们是表示林分达到最多密度线之前的自然枯死过程的自然枯死线。

2. 关于 $v-N$ 的密度管理图（安藤）

该图由下列要素组成：

1) 6—30 米的等树高线（主林木平均高）。

2) 8—50 厘米的等直径线。

3) 自然枯死线。

4) $R_y = 0.5—0.9$ 的直线。它们是在单位面积蓄积量为每一树高阶最大值的 50—90% 的时候，表示单位面积蓄积量与立木密度之间关系的收量比数线。

5) 最多密度线。

3. 关于 $H—D—N—V$ 关系图（相场）

该图由下述要素组成：

1) 6—30 米的等树高线（林分平均高）。

2) 8—64 厘米的等直径线。

3) 最多密度线。

4) 最多密度线的平行线。它们是表示林冠的郁闭被打破，林分内无竞争时的生长导向线。

5) 竖向曲线。它们是表示林冠郁闭，林分内有竞争时的生长导向线。

6) 向右倾斜 45° 角的直线。它们是表示林分平均个体大小一定时，单位面积蓄积量与立木密度之间关系的材积导向线。

§ 1.2 美国密度控制图

70 年代后期，美国林学家们在日本密度效应理论的基础上，从生物学假设和量纲分析角度，重新论证密度效应倒数法则，和 $3/2$ 次方法则，并将它们应用到人工辐射松和北美黄杉林上。

下面就将迪屋 (T. JOHN DREW)、佛来维玲 (JAMES W. FLEWELLING) 等 (1977 年) 提出的论证过程予以介绍。

他们根据日本依田等 (1963年) 的研究成果认为, 在任一发育阶段上, 对完全被占据的生态空间来说, 被一株林木所占据的平均面积 (S) 与每公顷株数 (N) 成反比, 即

$$S \propto \frac{1}{N} \quad (1.2.1)$$

而且面积 (S) 是线性量纲——长度 (L) 的二次函数, 即

$$S \propto L^2 \quad (1.2.2)$$

体积 (v) 又是长度 (L) 的三次函数, 即

$$v \propto L^3 \quad (1.2.3)$$

所以

$$S \propto (L)^2 = (L^3)^{2/3} = (v)^{2/3} \quad (1.2.4)$$

将 (1.2.1) 和 (1.2.4) 联立, 得

$$\frac{1}{N} \propto v^{2/3} \quad (1.2.5)$$

即

$$v \propto N^{-3/2}$$

或者

$$v = cN^{-3/2} \quad (1.2.6)$$

由此, 导出密度效应 $3/2$ 次方法则。

他们又根据日本篠奇、吉良等 (1956年) 的研究成果, 提出如下两个假设:

1. 对于同一林分来说, 平均单株材积 (v) 随时间 (t) 变化的速度, 在不同的发育阶段上所取得的值, 与平均单株材积在各发育阶段上所取的当前值 (v) 对最终值 (v_m) 的差值成正比,

即,

$$\frac{dv}{dt} \propto \left(1 - \frac{v}{v_m}\right) \quad (1.2.7)$$

2. 对于不同的林分来说, 平均单株材积 (v) 随时间 (t) 的变化速度, 在相同的发育阶段上所取的值, 与平均单株材积在各林分中所取的值 (v) 成正比, 即

$$\frac{dv}{dt} \propto v \quad (1.2.8)$$

将 (1.2.7) 和 (1.2.8) 联立, 得

$$\frac{dv}{dt} \propto v \left(1 - \frac{v}{v_m}\right) \quad (1.2.9)$$

这样, 对于不同林分来说, 平均单株材积的变化速度, 在不同发育阶段上所取的值, 即与平均单株材积在各林分中所取的值成正比, 又与该当前值对最终值之差值成正比。

如适当选择比例常数 λ , (1.2.9) 就可写成

$$\frac{dv}{dt} = \lambda v \left(1 - \frac{v}{v_m}\right) \quad (1.2.10)$$

即

$$\frac{dv}{dt} - \lambda v = \frac{\lambda}{v_m} v^2 \quad (1.2.11)$$

为求解贝努利方程 (1.2.11), 以 v^2 除 (1.2.11) 的两端, 得

$$v^{-2} \frac{dv}{dt} - \lambda v^{-1} = -\frac{\lambda}{v_m} \quad (1.2.12)$$

令

$$z = v^{-1} \quad (1.2.13)$$

由此, 得

$$\frac{dz}{dt} = -v^{-2} \frac{dv}{dt} \quad (1.2.14)$$

将 (1.2.13) 和 (1.2.14) 代入 (1.2.12), 得

$$\frac{dz}{dt} + \lambda z = \frac{\lambda}{v_m} \quad (1.2.15)$$

为求解非齐次线性微分方程 (1.2.15), 我们选择一函数 $W(t)$ 乘方程 (1.2.15), 使方程左端变成 Wz 的导数, 即

$$W \left(\frac{dz}{dt} + \lambda z \right) = \frac{d}{dt} (Wz) \quad (1.2.16)$$

但是

$$\frac{d}{dt} (Wz) = W \frac{dz}{dt} + \frac{dW}{dt} \cdot z \quad (1.2.17)$$

由 (1.2.16) 和 (1.2.17), 可知 $W(t)$ 必须满足

$$\lambda Wz = \frac{dW}{dt} z \quad (1.2.18)$$

由此, 得

$$\frac{dW}{W} = \lambda dt$$

求积分, 得

$$\ln W = \lambda t$$

即

$$W = e^{\lambda t}$$

把 W 代到 (1.2.16) 中去, 得

$$e^{\lambda t} \left(\frac{dz}{dt} + \lambda z \right) = \frac{d}{dt} (e^{\lambda t} z) \quad (1.2.19)$$

用 $e^{\lambda t}$ 乘方程 (1.2.15), 使得

$$e^{\lambda t} \left(\frac{dz}{dt} + \lambda z \right) = \frac{\lambda}{v_m} e^{\lambda t} \quad (1.2.20)$$

由 (1.2.19) 和 (1.2.20), 得

$$\frac{d}{dt} (e^{\lambda t} z) = \frac{\lambda}{v_m} e^{\lambda t}$$

求积分，得

$$e^{\lambda t} z = \int \frac{\lambda}{v_m} e^{\lambda t} dt + c$$

即

$$\begin{aligned} z &= e^{-\lambda t} \left(\frac{e^{\lambda t}}{v_m} + c \right) \\ &= \frac{1}{v_m} (1 + c v_m e^{-\lambda t}) \end{aligned}$$

将 z 代入 (1.2.13)，得

$$v^{-1} = \frac{1}{v_m} (1 + c v_m e^{-\lambda t})$$

即

$$\begin{aligned} v &= \frac{v_m}{1 + c v_m e^{-\lambda t}} \\ c v_m &= K \end{aligned}$$

令

$$v = \frac{v_m}{1 + K e^{-\lambda t}} \quad (1.2.21)$$

根据日本最终产量恒定理论，即每个单位面积上的最终产量 (V_m) 是恒定的常数且不依赖于立木密度 (N)，有

$$v_m = \frac{V_m}{N} \quad (1.2.22)$$

由方程 (1.2.21) 而知，林分生长初期的平均单株材积 (v_0) 不依赖于立木密度，即当 $t \rightarrow 0$ 时，

$$v_0 = \frac{v_m}{1 + K} \quad (1.2.23)$$

将 (1.2.22) 中的 v_m 代入 (1.2.23)，得

$$v_0 = \frac{V_m}{N(1+K)}$$

即

$$K = \frac{V_m - v_0 N}{v_0 N} \quad (1.2.24)$$

又由 (1.2.21), 知

$$\begin{aligned} v^{-1} &= \frac{1 + Ke^{-\lambda t}}{v_m} \\ &= \frac{e^{\lambda t} + K}{v_m e^{\lambda t}} \end{aligned} \quad (1.2.25)$$

将 (1.2.24) 中的 K 代入 (1.2.25), 得

$$\begin{aligned} v^{-1} &= \frac{e^{\lambda t} + \frac{V_m - v_0 N}{v_0 N}}{v_m e^{\lambda t}} \\ &= \frac{v_0 N e^{\lambda t} + V_m - v_0 N}{v_0 N v_m e^{\lambda t}} \\ &= \frac{v_0 N (e^{\lambda t} - 1) + V_m}{v_0 N v_m e^{\lambda t}} \\ &= \frac{e^{\lambda t} - 1}{v_m e^{\lambda t}} + \frac{V_m}{v_0 N v_m e^{\lambda t}} \\ &= \frac{e^{\lambda t} - 1}{V_m e^{\lambda t}} N + \frac{1}{v_0 e^{\lambda t}} \\ &= \frac{1 - e^{-\lambda t}}{V_m} N + \frac{e^{-\lambda t}}{v_0} \end{aligned} \quad (1.2.26)$$

在固定的林龄 (即 t 不变) 上, 令

$$A = \frac{1 - e^{-\lambda t}}{V_m}$$

$$B = \frac{e^{-\lambda t}}{v_0}$$

则 (1.2.26) 变成

$$v^{-1} = AN + B \quad (1.2.27)$$

这就是密度效应倒数法则。

§ 1.3 我国林分密度控制图

70年代后期和80年代初期,我国林业工作者在学习日本理论的基础上,进一步探索密度效应规律,编制出人工长白落叶松、杉木,天然兴安落叶松、大青杨、柞树、杨桦、水曲柳、胡桃楸、阔叶树等纯林和混交林共8个林分类型的密度控制图,开始应用到生产上。

下面就我国密度控制图所采用的密度效应模型作一个简单介绍。

一、同一生长阶段上的密度效应模型

1. 黑龙江省大兴安岭林业勘察设计院田锦锡(1980年)和中国林业科学研究院姜文南等(1981年),应用日本产量密度效应倒数模型

$$V^{-1} = a_{11}H^{b_{11}} + a_{12}H^{b_{12}}N^{-1} \quad (1.3.1)$$

分别编制出天然兴安落叶松和人工长白落叶松林密度控制图中的等树高线。

2. 中国林业科学研究院刘景芳等(1980年)提出产量密度效

应幂函数模型

$$V = a_{11}H^{b_{11}}N^{a_{12}}H^{b_{12}} \quad (1.3.2)$$

$$V = a_{21}H^{b_{21}}N^{a_{22}}D^{b_{22}} \quad (1.3.3)$$

并用它们编制出人工杉木林密度管理图中的等树高线和等直径线。

3. 南京林产工业学院周本琳等 (1980年) 提出直径密度效应指数函数模型

$$D = a + b \ln \left(\frac{T}{N} \right) \quad (1.3.4)$$

并用它编制出人工杉木林密度管理图中的等林龄 (T) 线。

4. 吉林省林业科学研究所尹泰龙、韩福庆、迟金诚、吴宝荣等 (1978年) 提出单产密度效应抛物线模型

$$V = a_{11}H^{b_{11}}N - a_{12}H^{b_{12}}N^2 \quad (1.3.5)$$

并应用它和日本直径密度效应倒数模型

$$D^{-1} = a_{21}H^{b_{21}} + a_{22}H^{b_{22}}N \quad (1.3.6)$$

编制出人工长白落叶松、天然柞树、杨桦、水曲柳、胡桃楸、阔叶树、大青杨林密度控制图中的等树高线及等直径线。

二、最大密度条件下的密度效应模型

1. 黑龙江林业科学研究院 (1977年) 提出直径密度效应双曲线模型

$$N = a + \frac{b}{D} \quad (1.3.7)$$

并用它编制出人工落叶松林密度管理图中的最大密度表。

2. 刘景芳、姜文南、田锦锡、周本琳等提出：用高密度林分数据，通过最小二乘法和图上平移途径，确定日本自然稀疏 $3/2$ 次方法则

$$V = K_4 N^{-(K_3-1)} \quad (1.3.8)$$

中参数 K_3 和 K_4 的方法。

3. 吉林省林业科学研究所提出：用上述单产密度效应抛物线模型 (1.3.5)，导出日本自然稀疏 3/2 次方法则 (1.3.8) 中参数 K_3 和 K_4 的计算方法，即

$$K_3 = \frac{b_{12}}{b_{12} - b_{11}} \quad (1.3.9)$$

$$K_4 = \frac{a_{11}}{2} \left(\frac{a_{11}}{2a_{12}} \right)^{K_3} \quad (1.3.10)$$

三、同一疏密状态下的密度效应模型

1. 河北林业专科学校等 (1978年) 提出亩产密度效应幂函数模型

$$V = a_0 (c \cdot D)^{a_1} N^{-a_2} \quad (1.3.11)$$

并用它编制出人工油松林蓄积量标准表。实际上，(1.3.11) 就是等郁闭度线模型。其中， V 为每亩蓄积量， N 为每亩株数， c 、 D 为郁闭度。

2. 中国林业科学研究院刘景芳等提出产量密度效应模型

$$V = K_4 P \left(\frac{K_4}{A} \right)^{-(K_3-1)/(B+K_3-1)} \quad (1.3.12)$$

式中， P 为疏密度， $A = a_{11} H^{b_{11}}$ ， $B = a_{12} H^{b_{12}}$ 。

并用它绘制出密度管理线

3. 吉林省林业科学研究所提出单产密度效应幂函数模型

$$V = K_p N^{-(K_3-1)} \quad (1.3.13)$$

式中， $K_p = \frac{a_{11} P}{2(1 - \sqrt{1-P})} \left(\frac{a_{11}}{a_{12}} \right)^{K_3} \left(1 - \frac{P}{2(1 - \sqrt{1-P})} \right)^{K_3}$ 。

P 为疏密度，并用它绘制出等疏密度线 (包括饱和密度线)。