

两种珍稀植物群落物种多度分布的核方法研究

吴承祯¹, 洪伟¹, 吴继林², 郑群瑞³

(1. 福建林学院, 福建 南平 353001; 2. 福建省永安市林业局, 福建 永安 366000;
3. 福建省万木林自然保护区管理站, 福建 建瓯 353105)

摘要: 首次提出物种多度分布的非参数核密度估计方法, 介绍了此方法的构造和主要性质。珍稀濒危植物观光木群落和长苞铁杉群落的乔木层、灌木层、所有木本植物物种多度分布实例拟合结果表明, 核方法能很好地描述群落物种多度分布。非参数核估计方法是群落物种多度分布模拟的一种有效方法, 它丰富了物种多度分布拟合方法, 为珍稀濒危植物的管理与保护提供了理论参考。

关键词: 非参数核密度估计; 物种多度分布; 珍稀濒危植物; 观光木群落; 长苞铁杉群落

中图分类号: Q94-332

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2000)04-0301-07

STUDIES ON KERNEL DENSITY ESTIMATION OF SPECIES ABUNDANCE DISTRIBUTION IN TWO COMMUNITIES OF RARE AND ENDANGERED PLANTS

WU Cheng-zhen¹, HONG Wei¹, WU Ji-lin², ZHENG Qun-rui³

(1. Fujian College of Forestry, Nanping 353001, China; 2. Yong'an Forestry Bureau, Yong'an 366000, China;
3. Administrative Station of Wanmulin Nature Reserve, Jian'ou 353105, China)

Abstract: The kernel density estimation method of species abundance distribution was used to simulate the species abundance distribution of two communities which were dominated respectively by rare species *Tsoongiodendron odorum* Chun and by vulnerable species *Tsuga longibracteata* Cheng. The results show that the species abundance distribution in tree and shrub layers and all woody plants of the two forests all can well be described by using nonparametric kernel method based on the sample data without assuming the species abundance distribution. The nonparametric kernel density estimation is suggested to be a useful method for species abundance distribution simulation.

Key words: Nonparametric kernel density estimation; Species abundance distribution; Rare and endangered plant; *Tsoongiodendron odorum* community; *Tsuga longibracteata* community

珍稀濒危植物观光木 (*Tsoongiodendron odorum* Chun) 和长苞铁杉 (*Tsuga longibracteata*)

收稿日期: 2000-01-28

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目 (F991) .

Cheng) 分别被列为国家二级和三级保护植物^[1]。由于珍稀濒危植物观光木和长苞铁杉具有古老性和珍稀性, 且群落结构复杂, 因此, 研究和保护观光木及长苞铁杉群落物种的多样性具有深远的生态意义和理论价值。

在生物多样性研究中, 除物种多样性指数外, 还有一类叫作“物种多度分布模型”的方法, 它是利用概率论的方法描绘物种多度的分布^[2]。多度分布模型是用公式来假设所描绘的状态的均匀度水平的特征, 因此, 群落的物种多样性可通过这种模型的分布状况来估值。为此, 生态学家提出了各种模型试图使这些多度数量化, 常见的统计模型有4类^[3-9]: Whittaker 提出的几何分布、MacArthur 提出的断棍分布、Fisher 等提出的对数分布和 Preston 提出的对数正态分布; 笔者曾提出应用 Weibull 分布研究物种多度分布, 并取得理想效果^[10]。有关珍稀濒危植物观光木及长苞铁杉群落和种群生态学研究鲜见报道^[10-12], 为此, 本文首次提出物种多度分布的非参数核密度估计方法。非参数核密度^[13-15]是以数据为基础, 不需要估计任何参数, 能在一定最优准则下, 很好地跟踪样本, 即能很好“修匀”, 误差小, 适应性强。本文介绍实际应用中常用、表达式简单的一类非参数核密度估计及其性质, 并应用于观光木和长苞铁杉两种珍稀濒危植物群落物种多度分布的实例描述, 以反映珍稀濒危植物观光木及长苞铁杉群落及其环境的保护状况, 对于揭示珍稀濒危植物濒危机制、保护珍稀濒危植物及其群落生物多样性具有重要意义。

1 两种群落的生境特征及分布

1.1 观光木群落

观光木 (*Tsoongiodendron odorum* Chun) 是木兰科单种属常绿乔木, 分布于福建、云南、贵州、广东、广西、湖南、江西等地, 越南北部也有分布。观光木虽分布较广, 但为偶见种, 属渐危种。在福建省万木林自然保护区中观光木群落成为由栲属 (*Castanopsis*)、樟属 (*Cinnamomum*)、木姜子属 (*Litsea*)、水丝梨属 (*Sycopsis*)、猴欢喜属 (*Sloanea*) 等喜暖树种所组成的常绿阔叶林优势种, 在国内罕见。

万木林自然保护区位于福建省北部建瓯市境内, 地处武夷山和鹫峰山之间, 即北纬 27°03', 东经 118°09', 面积为 189 hm²。该区属亚热带东南湿润区, 平均气温 18.7 °C, 日均温度 ≥10 °C 的活动积温为 5899.4 °C, 平均霜期 75 d, 年均降水量 1673.3 mm, 全年相对湿度达 81%。土壤为常绿阔叶林下发育在片麻岩风化的波积母质、少石砾、中壤质, 中量腐殖质的厚层山地黄红壤, 土壤反映呈酸性, pH 值 5.0 左右。观光木群落分布于万木林山体中部, 分布面积约 4 hm², 海拔 380-450 m, 因地处沟谷、山坡中部, 水热条件较好, 林内枯枝落叶层厚达 2-3 cm。

1.2 长苞铁杉群落

长苞铁杉 (*Tsuga longibracteata* Cheng) 属松科铁杉属, 散生于我国的贵州、湖南、广东、广西和福建等地, 其中以南岭山地和戴云山脉山区为主要分布区。由南岭山地向南, 分布于广西大瑶山、广东与湖南交界处的乳源和莽山; 向西分布于贵州梵净山和九万大山; 在戴云山区主要分布在福建永安、连城、清流和德化等地。在福建省天宝岩自然保护区保存有一片较完好的以长苞铁杉为建群种的长苞铁杉针阔混交林, 面积约 72 hm² 左右, 在福建乃至全国均属罕见。

天宝岩自然保护区位于北纬 $25^{\circ}55' - 25^{\circ}58'$, 东经 $117^{\circ}31' - 117^{\circ}33.5'$, 面积约 1845.2 hm^2 , 在戴云山余脉。该区属亚热带季风气候, 年平均气温 15°C , 全年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温在 $4520 - 5800^{\circ}\text{C}$, 年均降水量 2032.9 mm , 全年相对湿度 80% 。土壤的垂直分布大致是海拔 800 m 以下为红壤, $800 - 1350 \text{ m}$ 为黄红壤, 1350 m 以上为黄壤。长苞铁杉针阔混交林分布在天宝岩东北坡, 海拔 $1300 - 1500 \text{ m}$, 人为干扰比较少, 特别是 1350 m 以上基本上保持原始状态, 其主要伴生树种由栲属、杉属 (*Cunninghamia*)、青冈属 (*Cyclobalanopsis*)、木荷属 (*Schima*)、含笑属 (*Michelia*) 等树种组成。

2 取样与分析方法

2.1 取样方法

1993年12月在万木林自然保护区采用随机偶对法调查观光木群落乔木层树种的种类、胸径、树高等指标, 采用 $5 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 样方法调查观光木群落内灌木和幼苗幼树种类、高度及盖度、分布情况等结构特征。现将调查所得的乔木层 22 种植物按其重要值大小顺序列于表 1。

表 1 观光木群落乔木层植物的重要值

Table 1 Importance values of tree species in *Tsoongiodendron odorum* community investigated in Dec. 1993

| 树种 Species | 相对密度 (%) Relative density | 相对频度 (%) Relative frequency | 相对显著度 (%) Relative dominance | 重要值 Importance value |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i> | 11.67 | 12.07 | 31.45 | 55.19 |
| 尖叶水丝梨 <i>Sycopsis dunnii</i> | 15.00 | 15.52 | 2.98 | 33.50 |
| 拉氏栲 <i>Castanopsis lamontii</i> | 5.00 | 5.17 | 20.36 | 30.53 |
| 猴欢喜 <i>Sloanea sinensis</i> | 10.00 | 10.34 | 2.83 | 23.17 |
| 桂北木姜子 <i>Litsea subcoriacea</i> | 8.33 | 8.62 | 5.37 | 22.32 |
| 笔罗子 <i>Meliosma rigida</i> | 8.33 | 8.62 | 3.26 | 20.21 |
| 山黄皮 <i>Randia cochinchinensis</i> | 6.67 | 6.90 | 1.41 | 14.98 |
| 铁冬青 <i>Ilex rotunda</i> | 6.67 | 6.90 | 1.41 | 14.98 |
| 福建含笑 <i>Michelia fujianensis</i> | 1.67 | 1.72 | 6.88 | 10.27 |
| 木荷 <i>Schima superba</i> | 3.33 | 3.45 | 3.30 | 10.08 |
| 枫香 <i>Liquidambar formosana</i> | 1.67 | 1.72 | 6.27 | 9.66 |
| 薄叶山矾 <i>Symplocos anomala</i> | 3.33 | 3.45 | 1.69 | 8.47 |
| 红皮树 <i>Styrax suberifolia</i> | 3.33 | 3.45 | 1.23 | 8.01 |
| 浙江桂 <i>Cinnamomum chekiangense</i> | 1.67 | 1.72 | 3.71 | 7.10 |
| 少叶黄杞 <i>Engelhardtia fenzelii</i> | 1.67 | 1.72 | 1.85 | 5.24 |
| 福建山矾 <i>Symplocos fukienensis</i> | 1.67 | 1.72 | 1.51 | 4.90 |
| 杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i> | 1.67 | 1.72 | 1.06 | 4.45 |
| 深山含笑 <i>Michelia maudiae</i> | 1.67 | 1.72 | 1.01 | 4.40 |
| 厚皮香 <i>Ternstroemia gymnanthera</i> | 1.67 | 1.72 | 0.81 | 4.20 |
| 闽楠 <i>Phoebe bournei</i> | 1.67 | 1.72 | 0.74 | 4.13 |
| 刨花润楠 <i>Machilus pauhoi</i> | 1.67 | 1.72 | 0.66 | 4.05 |
| 米槠 <i>Castanopsis carlesii</i> | 1.67 | 1.72 | 0.22 | 3.61 |

1998年10月在天宝岩自然保护区的长苞铁杉群落中选择具代表性地段设置 6 块 $20 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 样地, 每一样地划分为 24 个 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的小样方, 调查每一小样方乔木层的种类、胸径、树高等

指标; 每一样地内随机设置6个1 m×1 m小样方调查长苞铁杉群落内灌木和幼苗幼树种类、高度及盖度、分布情况。现将此群落乔木层物种按其重要值大小顺序列于表2。

表2 长苞铁杉群落乔木层植物的重要值

Table 2 Importance values of tree species in *Tsuga longibracteata* community investigated in Oct. 1998

| 树种 Species | 相对密度 (%) Relative density | 相对频度 (%) Relative frequency | 相对显著度 (%) Relative dominance | 重要值 Importance value |
|---|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 长苞铁杉 <i>Tsuga longibracteata</i> | 44.00 | 23.80 | 84.18 | 151.98 |
| 甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> | 17.12 | 9.10 | 3.52 | 29.74 |
| 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> | 5.31 | 12.03 | 2.24 | 19.58 |
| 木荷 <i>Schima superba</i> | 4.42 | 7.49 | 2.54 | 14.45 |
| 深山含笑 <i>Michelia maudiae</i> | 2.66 | 9.09 | 0.71 | 12.46 |
| 薯豆 <i>Elaeocarpus japonicus</i> | 2.65 | 7.50 | 0.84 | 10.99 |
| 小叶青冈 <i>Cyclobalanopsis myrsinaefolia</i> | 2.66 | 5.86 | 1.14 | 9.66 |
| 冬青 <i>Ilex purpurea</i> | 2.66 | 5.88 | 0.52 | 9.06 |
| 毛竹 <i>Phyllostachys pubescens</i> | 5.31 | 1.47 | 1.35 | 8.13 |
| 福建野樱 <i>Prunus fokienensis</i> | 0.88 | 4.54 | 0.26 | 5.68 |
| 黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i> | 2.65 | 1.47 | 0.19 | 4.31 |
| 江南花楸 <i>Sorbus hemsleyi</i> | 0.88 | 2.95 | 0.13 | 3.96 |
| 南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i> | 0.88 | 1.47 | 1.25 | 3.60 |
| 多穗石砾 <i>Lithocarpus polystachyus</i> | 1.76 | 1.47 | 0.31 | 3.54 |
| 柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i> | 1.76 | 1.47 | 0.31 | 3.54 |
| 檫木 <i>Sassafras tsumu</i> | 1.76 | 1.47 | 0.20 | 3.43 |
| 枫香 <i>Liquidambar formosana</i> | 1.76 | 1.47 | 0.11 | 3.34 |
| 罗浮栲 <i>Castanopsis fabri</i> | 0.88 | 1.47 | 0.20 | 2.55 |

2.2 非参数核密度估计简介

设 X_1, X_2, \dots, X_n 是概率密度为 $f(x)$ 的总体的样本。

$$\text{令 } f(x) = \frac{1}{nh_n} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h_n}\right) \quad (1)$$

其中: $K(x)$ 为核函数, 一般取为适当的概率密度函数; h_n 为窗宽, 它可以与样本有关, 且 $h_n \rightarrow 0$, $n \rightarrow \infty$ 时, $f_n(x) \rightarrow f(x)$ (a.s.)。称 (1) 式为非参数核密度估计, 简称核密度估计。可看出, 它不需要知道群落物种多度分布是否属于哪一分布类型, 就可以对群落物种多度进行描述; 同时它的假设条件很少, 对于任给的两个 $x_1 < x_2$ 值, 它都能够回答 $[x_1, x_2]$ 之间的物种多度。很显然, 用这种方法来描述群落物种多度结构具有其优点。它显然满足: $f_n(x) \geq 0$, $\int f_n(x) = 1$ 不仅如此, 它比直方图来得简洁, 能很好地跟踪数据, 反映数据的规律性。

$$\text{特别取 } K(x) = \begin{cases} 1/2 & |x| \leq 1 \\ 0 & |x| > 1 \end{cases} \quad \text{则 (1) 式变为: } f(x) = \frac{F_n(x + h_n) - F_n(x - h_n)}{2h_n} \quad (2)$$

其中: $F_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{(X_i \leq x)}$ 是样本经验分布函数, 它直观地表明了样本落在区间 $(x - h_n, x + h_n)$ 内的频率与区间长度的比。

如果 $f(x)$ 在 x 处二阶连续可导, 且 $f^{(2)}(x) \neq 0$, 则当 $h_n \rightarrow 0$ 时,

$$E[f_n(x) - f(x)]^2 = \frac{f(x)}{2nh_n} + \frac{h_n^4}{36} [f^{(2)}(x)]^2 + O\left(\frac{1}{nh_n} + h_n^4\right)$$

其中 E 表示数学期望; O 表示有界序列。因此, 如果置 $h_n = k_n^{-a}$, 则参数 a, k 的最优选择为:

$$a = 0.2, k = \left[\frac{9f(x)}{|f^{(2)}(x)|^2} \right]^{1/5}$$

通常 K(x) 满足如下条件:

1. $\sup_{x \rightarrow \infty} K(x) \leq M < \infty, \lim_{x \rightarrow \infty} |x|K(x) = 0$
2. $K(x) = K(-x), x \in R, \int x^2 K(x) dx = A < \infty$
3. K(x) 的特征函数 $\varphi_k(x)$ 绝对可积。

式中: M 为核函数最大值; A 为依核函数不同而不同的某一特定数值。

满足条件 1-3 的 K(x) 例子如下:

$$K_1(x) = \begin{cases} 1/2 & |x| \leq 1 \\ 0 & |x| > 1 \end{cases} \quad K_2(x) = \exp(-x^2/2) / \sqrt{2\pi} \quad K_3(x) = \begin{cases} 1/\sqrt{6} & |x| \leq \sqrt{6} \\ 0 & |x| > \sqrt{6} \end{cases}$$

一般取 h_n 满足: $h_n \rightarrow 0(a.s.), (nh_n)/[\log(n)] \rightarrow \infty(a.s.)$, 这就能保证 $f_n(x)$ 依概率收敛于 $f(x)(a.s.)$ 。 h_n 的选取, 是核估计的最关键问题, 它直接影响到核估计精度。通过大量的试验, 可以认为把直方图的宽度与所选核函数最大值的乘积作为窗宽, 能够满足应用要求, 同时还能达到很高的精度^[15]。理论上 K(x) 为任意函数, 但从应用角度, 多取为适当的概率密度函数。本文采用在统计上具有很多优良性质的如下核函数式^[14]:

$$K(x) = \begin{cases} \frac{3}{4\sqrt{5}} \left(1 - \frac{x^2}{5}\right) & |x| \leq \sqrt{5} \\ 0 & |x| > \sqrt{5} \end{cases} \quad (3)$$

3 结果与分析

观光木和长苞铁杉两种植物群落物种多度分布的核密度估计拟合用“多度/频度”来描述, 以 (3) 式为核函数。为了对物种多度分布的核密度估计进行检验, 首先对观察的物种多度进行分组, 组间距根据群落物种多度观察值具体而定。这里观光木群落分组组间距乔木层为 2, 灌木层为 1, 所有木本植物为 1; 而长苞铁杉群落分组组间距乔木层为 3, 灌木层为 4, 所有木本植物为 4; 然后各上限值再加 0.5, 以使各组间界限明了, 分别用核密度估计拟合两种群落乔木层、灌木层以及所有木本植物物种多度分布。为了准确评价拟合结果, 采用柯尔莫哥洛夫-斯米尔活夫检验法进行检验, 即首先求出各多度级的理论频数, 计算出累积概率 F_u , 同时利用各多度级的实际频数 n_i , 求出相应的实际累积频率 F_n , 将 F_u 与 F_n 进行比较, 以 $\Delta = |F_u - F_n|$ 反映理论分布与实际分布的差异程度, 求算群落每一层次: $D_n = \text{Max}\Delta = \text{Max}|F_u - F_n|$, 再查出 D_n 的临界值, 通过理论分布函数与样本累积频率分布函数在相同多度级处的比较作出结论^[10]。不同地域、不同群落拟合结果是理想的 (表 3), 说明该法能很好地描述群落物种多度分布。

为了从直观上说明核密度估计的拟合结果, 绘制了“物种多度 - 累积概率”图。首先将样本数据多度由小到大排列 $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, 这样分布函数定义为: $S_N(x_i) = (x \text{ 中小于或等于 } x_i$

的物种个数)/N, 然后在概率纸上做出 $S_N(x)$ 曲线(图 1,2), 其数学形式为:

$$S_N(x) = \begin{cases} 0 & x < x_i \\ i/N & x_i \geq x > x_{i-1} \\ 1 & x \geq x_N \end{cases}$$

其中 $i=1, 2 \dots, N-1$, 它是随机变量分布函数 $P(x)$ 的近似开式。当 $N \rightarrow \infty$, 有 $S_N(x) \rightarrow P(x) \rightarrow 1$, 现利用非参数核密度估计的密度函数, 并求出与 x_i 相对应的 $f(x)$ 的值, 进行积累, 然后在概率纸上做出分布曲线(图 1,2), 实际累计频率与理论累计频率相差甚小, 说明核密度估计能很好地描述物种多度分布。

表 3 物种多度的核密度估计拟合结果

Table 3 Simulation results of species abundance distribution with kernel density estimation

| 种类 Species | 观光木群落 <i>Tsoongiodendron odorum</i> community | | | 长苞铁杉群落 <i>Tsuga longibracteata</i> community | | |
|--------------------------|--|------------|----------------|---|------------|----------------|
| | D_n^* | $D_{0.05}$ | 结果 Results | D_n^* | $D_{0.05}$ | 结果 Results |
| | 乔木层 In tree layer | 0.0205 | 0.2809 | 理想Satisfactory | 0.0425 | 0.3094 |
| 灌木层 In shrub layer | 0.0642 | 0.2308 | 理想Satisfactory | 0.0423 | 0.1850 | 理想Satisfactory |
| 所有木本植物 All woody species | 0.0594 | 0.2076 | 理想Satisfactory | 0.0259 | 0.1670 | 理想Satisfactory |

* $D_n = \text{Max}|F_u - F_n|$

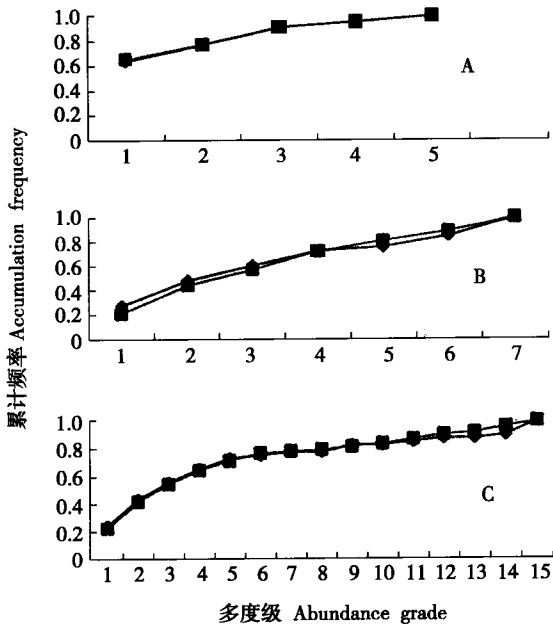


图 1 观光木群落物种多度分布核估计

Fig. 1 Kernel density estimation of species abundance distribution in *Tsoongiodendron odorum* community

A: 乔木层 Tree layer; B: 灌木层 Shrub layer; C: 所有木本植物 All woody species
 ◆ 实际频率 Actual frequency; ■ 理论频率 Theoretical frequency

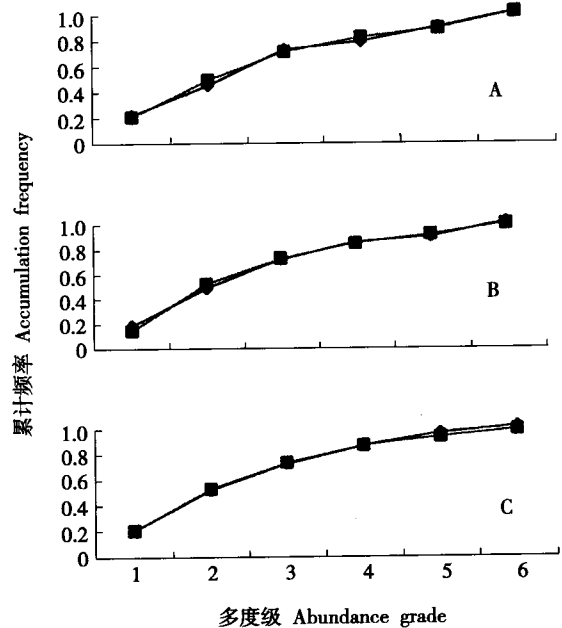


图 2 长苞铁杉群落物种多度分布核估计

Fig. 2 Kernel density estimation of species abundance distribution in *Tsuga longibracteata* community

珍稀濒危植物观光木和长苞铁杉在研究各自学科分类系统上均有一定的科学意义,但由于自然更新能力较弱,分布范围逐渐缩小,天然大树已陷入濒危境地,现已被列为国家二级和三级保护植物^[1,10,12]。本文用非参数核密度估计方法对这两种珍稀濒危植物群落乔木层、灌木层、所有木本植物物种多度分布的研究表明,用此法描述群落各层次的物种多度分布很理想,可适用于不同地域、不同群落、不同群落层次的物种多度分布格局的表达,不仅增加了植物群落物种多度分布研究手段,而且为观光木和长苞铁杉珍稀濒危机理及保护提供一些可借鉴的统计信息。物种多度分布模型一般用“序列/多度”图解和“多度/频度”图解两种方式描述,本文以后者来探讨物种多度分布的非参数核密度估计法收到满意效果。

非参数的核密度估计方法描述群落物种分布既简单又灵活,用核方法估算的物种多度分布比用固定的概率密度函数模拟出的物种多度分布有着更高的可靠性。其最大的优点是,不需要知道是否属于某一参数分布,并能灵活地描述群落物种多度分布,是群落物种多度分布研究的一种有效方法,但非参数核密度估计与群落结构之间相互关系还有待进一步探索。

参考文献:

- [1] 傅立国. 中国植物红皮书—稀有濒危植物(第一册) [M]. 北京: 科学出版社, 1992, 454.
- [2] 林金安. 植物科学综论 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993, 222-233.
- [3] 吴承祯, 洪伟. 物种多度对数正态分布模型的一种数值计算方法 [J]. 应用与环境生物学报, 1998, 4(4):409-413.
- [4] Ganis P. La Diversity Specifics Nella Community Ecologiche: Concetti Metodie Peogrammi di Calcolo [M]. Triesta: Geadcq, 1911, 56-78.
- [5] Whittaker R H. Vegetation of the Great Smoky Mountains [J]. Ecol Monogr, 1956, 26:1-80.
- [6] Whittaker R H. Dominance and diversity in land plant communities [J]. Science, 1965, 147:250-260.
- [7] Whittaker R H. Evolution and measurement of species diversity [J]. Taxon, 1972, 21:213-351.
- [8] Magurran A E. Ecological Diversity and its Measurement [M]. Sydney: Croom Helm, 1988, 1-79.
- [9] May R M. Pattern of species abundance and diversity [A]. In: Cody M L, Diamond J M. Ecology and Evolution of Communities [M]. Cambridge: Harvard Univ. Press, 1975, 81-120.
- [10] 吴承祯, 洪伟. 观光木群落物种多度分布的 Weibull 模型研究 [J]. 福建林学院学报, 1997, 17(1):20-24.
- [11] 郑群瑞, 张兴正, 姚清潭, 等. 福建万木林观光木群落学特征研究 [J]. 福建林学院学报, 1995, 15(1):22-27.
- [12] 吴承祯, 洪伟, 吴继林, 等. 珍稀濒危植物长苞铁杉的分布格局 [J]. 植物资源与环境学报, 2000, 9(1):31-34.
- [13] 王雪峰, 唐守正. 直径结构模拟中的核方法与直方图及列点法的比较分析 [J]. 林业科学研究, 1996, 9(5):469-474.
- [14] 陈希孺, 方兆本, 李国英, 等. 非参数估计方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [15] 崔恒建, 王雪峰. 核密度估计及其在直径分布研究中的应用 [J]. 北京林业大学学报, 1996, 18(2):67-72.