

宝天曼栎类天然林物种多样性与稳定性

闫东锋, 朱 澄, 杨喜田

(河南农业大学 林学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 利用河南省宝天曼国家级自然保护区 32 块样地资料, 通过划分不同的群落类型, 利用 Simpson 指数(D), Shannon-Wiener 指数(H)和 Pielou 指数(R)等 3 个物种多样性指数及改进的 M-Godron 稳定性测定方法分别对该区物种多样性和群落稳定性进行测度, 研究了栎类 *Quercus* 天然林群落物种多样性和稳定性的耦合相关关系。结果表明: 群落 A, 群落 B, 群落 C 和群落 D 的稳定性数值分别为 0.084 6, 0.239 4, 0.291 7 和 6.456 6, 除群落 D 处于不稳定状态, 其他 3 个群落类型均处于稳定状态, 且稳定值差别不大; 所有植物 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数与群落稳定性数值之间相关系数分别为 0.998 3, 0.968 0 和 0.999 7。以 95% 的置信概率检验结果表明, 两者存在着显著的正相关关系, 即植物群落的物种多样性越高, 结构越复杂, 稳定性就越强。图 2 表 2 参 15

关键词: 森林生态学; 改进 M-Godron 法; 群落稳定性; 物种多样性; 天然次生林群落; 宝天曼国家级自然保护区

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)04-0628-06

Species diversity and stability of a natural *Quercus* forest in Baotianman, Henan Province

YAN Dong-feng, ZHU Ying, YANG Xi-tian

(Forestry College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: To measure and study the values and relationships between community diversity and stability of four communities (A, B, C, and D) in a natural *Quercus* (oak) forest, data from thirty-two sample plots of the Baotianman Nature Reserve in Henan Province were obtained and analyzed according to three diversity indexes: the Simpson index (D), the Shannon-Wiener index (H), and the Pielou index (R) as well as a community stability index: the improved M-Godron method. A correlation analysis of the three diversity indexes to the community stability values (S_V) was also conducted. Results showed that communities A ($S_V = 0.084 6$), B ($S_V = 0.239 4$), and C ($S_V = 0.291 7$) were stable, but community D ($S_V = 6.456 6$) was unstable. Correlation coefficients for community stability versus species diversity [$D(r = 0.998 3)$, $H(r = 0.968 0)$, and $R(r = 0.999 7)$] were significant ($P < 0.05$). Thus, with more species diversity forest structure is more complex and stability is better. [Ch, 2 fig. 2 tab. 15 ref.]

Key words: forest ecology; improved M-Godron method; community stability; species diversity; natural secondary forest community; Baotianman National Nature Reserve

物种多样性不仅与群落的组成结构和功能等植被特征密切相关, 而且还与外界干扰的性质和强度相关联。从多样性的角度研究群落的动态或稳定性是森林生态学研究的一个热点^[1-3]。一般认为, 多样性程度高的群落, 其抵抗力强, 群落稳定性高^[4-6], 但研究实践中的许多例子并不符合这一点。有学者认为这是因为现代植被群落研究中, 很少有原生群落之故^[5-8]。河南省宝天曼国家级自然保护区处于北亚热带向暖温带的过渡区, 是中国中部地区植物群落类型最复杂、植物种类最丰富的地区。前人对宝天曼植被特征

收稿日期: 2010-10-10; 修回日期: 2010-11-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30872019)

作者简介: 闫东锋, 讲师, 博士研究生, 从事数量生态及森林可持续经营研究。E-mail: yandongfeng2002@126.com。通信作者: 杨喜田, 教授, 从事恢复生态学与水土保持等研究。E-mail: xitanyang@yahoo.com.cn

进行了大量研究, 但采用植被数量分析方法分析物种多样性与群落稳定性关系的却较少。本研究以宝天曼国家级自然保护区内的天然林为例, 分析两者之间的耦合关系, 以期能从中得出一定规律, 为森林生态系统稳定性的深入研究提供参考依据。

1 研究地区概况

宝天曼国家级自然保护区位于河南省的西南部, 伏牛山南麓, 地理位置为 $33^{\circ}25' \sim 33^{\circ}33'N$, $111^{\circ}53' \sim 112^{\circ}00'E$, 总面积为 53.4 km^2 , 相对海拔为 $600 \sim 1800 \text{ m}$, 最高峰宝天曼海拔为 1830 m 。年平均降水量为 855.6 mm , 多集中分布于 $6 \sim 8$ 月的雨季, 年蒸发量 991.6 mm , 年平均相对湿度为 68% , 平均气温为 27.8°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年活动积温为 $2931.0 \sim 2171.1^{\circ}\text{C}$, 低山区无霜期 227 d 。土壤垂直分布比较明显, 海拔 1300 m 以上为山地棕壤, 海拔 $800 \sim 1300 \text{ m}$ 为山地黄棕壤, 海拔 $600 \sim 800 \text{ m}$ 为山地褐土。共有高等植物 223 科 1002 属 2711 种。河南宝天曼国家级自然保护区位于中国北亚热带向暖温带和第 2 级阶梯向第 3 级阶梯的过渡区, 是中国植物群落类型比较复杂, 生物多样性相对丰富的地区之一。同时, 相对较少的人类活动干扰使该区保留了中国中部地区现存不多的天然次生林资源。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

在对宝天曼天然林群落的分布范围作全面踏勘的基础上, 按照海拔高度的变化, 结合考虑群落保存的完整性和小环境因素, 在群落分布区选取典型样地。本研究共设置标准样地 32 个, 样地的选择充分考虑不同年龄、不同树种组成、不同海拔、不同生境条件的栎类天然林。样地面积为 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$, 在样地四角沿主对角线方向设置 4 个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 灌木样方, 每个灌木样方内四角设置 4 个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 草本样方。对乔木样方, 逐株记录乔木树种的名称、胸径、树高、冠幅等; 对灌木样方, 记录灌木物种的名称、高度、盖度、冠幅等; 草本样方中记录物种名、株高、盖度。同时记录群落的地形因子、土壤因子和环境因子指标。

2.2 群落类型划分

依据该地区 32 块样地内主要树木种群组成结构, 参考前人对该地区进行植物群落数量分类的研究结果^[9], 将研究区的栎类天然次生林群落划分为 4 个群落类型, 分别是: 群落 A, 锐齿栎 *Quercus acutidensata*-悬钩子 *Rubus corchorifolius*-山挂牌条 *Rubus flosculosus*-羊胡子草 *Eriophorum vaginatum*, 海拔区间为 $1363 \sim 1758 \text{ m}$; 群落 B, 锐齿栎 + 化香 *Platycarya strobilacea*-悬钩子-山挂牌条-羊胡子草, 海拔区间为 $1325 \sim 1375 \text{ m}$; 群落 C, 锐齿栎-短柄枹树 *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata*-胡枝子 *Lespedeza formosa*-哥兰叶 *Celastrus gemmatus*-宽叶薹 *Carex siderosticta*-羊胡子草, 海拔区间为 $1331 \sim 1445 \text{ m}$; 群落 D, 短柄枹树-栓皮栎 *Quercus variabilis*-连翘 *Forsythia suspensa*-五味子 *Schisandra chinensis*-野草莓 *Fragaria ananassa*-羊胡子草, 海拔区间为 $1097 \sim 1384 \text{ m}$ 。

2.3 物种多样性的测度

本研究选择 3 种最常用的物种多样性指数描述群落的物种多样性, 即 Simpson 指数 $D=1-\sum_{i=1}^s P_i^2$, Shannon-Wiener 指数 $H=-\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$, 和 Pielou 指数 $R=-\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i / \ln S$ ^[10-11]。其中: $P_i = N_i / N$; S 为物种数, $i = 1, 2, 3, \dots, s$, N 为样地内物种个体总数, N_i 为第 i 种的个体数。

2.4 群落稳定性研究方法

M-Godron 测定方法是目前国际上流行的一种测定群落稳定性的方法。该方法的原理是将群落中所有植物的频度, 从大到小排列后, 计算出总种数倒数的累积百分数和相对频度的累积百分数, 对两者作散点图, 用一条曲线连接各散点, 同时在坐标轴数值的两端点处连一直线, 与曲线交点即为所求交点。若所求交点坐标趋近于 $(20, 80)$ 的稳定点, 群落则稳定, 反之则不稳定^[12]。M-Godron 法最关键的是交点坐标的计算, 传统的方法需要借助方格纸手工计算, 效率较低且不准确。本研究采用改进的 M-Godron 法, 即在绘制散点图及连接线的过程中, 首先建立数学模型, 模拟散点图平滑曲线^[13], 再以此曲线代替

散点图连接线计算交点坐标。

平滑曲线模拟方程为: $y=ax^2+bx+c$ 。直线方程为: $y=100-x$ 。

对方程求解, 得: $x=\frac{-(b+1) \pm \sqrt{(b+1)^2-4a(c-100)}}{2a}$ 。

方程中 x 为种倒数的累积百分数, y 为相对频度的累积百分数。直线方程 2 个解中处于 0~100 之间的数值为交点的横坐标, 利用直线方程求出纵坐标。平滑曲线模拟及检验采用 SPSS 16.0 软件进行。

3 结果与分析

3.1 物种多样性分析

在天然林中, 乔木种对群落往往具有支配作用, 决定着群落的发展趋势, 因此, 本研究在研究群落所有植物的多样性的基础上, 着重分析乔木层物种多样性与群落稳定性之间的关系, 这样更有利于认知群落多样性与其稳定性之间的关系。采用物种多样性指数计算公式, 分别计算各样地乔木层、所有植物(含灌木和草本)的物种多样性指数, 将各样地多样性指数归并到相应的群落类型中, 计算其平均值及标准差(表 1)。

由表 1 可知: 4 种群落的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数变化趋势基本一致的, 即群落 D>群落 C>群落 B>群落 A, 群落所有植物物种多样性指数变化也表现出相同的趋势。这说明该地区栎类天然林中, 乔木层是起决定性的层次。4 种群落中, 群落 D 的物种多样性指数最高, D 值达到 1.787 9, H 值达 2.928 8, R 值为 1.760 5, 明显高于其他 3 个群落。这是因为群落 D 的乔木种较丰富, 处于海拔较低的地带, 水分、土壤条件较好, 林下植被丰富, 以短柄枹和栓皮栎为主的栎类群落类型是该地区物种多样性最高的类型。同时, 结合各群落海拔分布范围, 可以看出, 随着海拔的增加, 群落的物种多样性降低。

表 1 4 个群落乔木层及所有植物各指数的平均值以及标准差

Table1 Four communities various levels and all plant various indices mean value as well as standard deviation

| 群落类型 | 植物 | D | H | R |
|------|------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 群落 A | 乔木层 | 0.219 3 ± 0.189 1 | 0.458 1 ± 0.378 9 | 0.354 7 ± 0.225 7 |
| | 所有植物 | 0.713 9 ± 0.091 1 | 1.742 4 ± 0.300 7 | 0.682 7 ± 0.134 0 |
| 群落 B | 乔木层 | 0.511 8 ± 0.085 9 | 0.869 3 ± 0.130 9 | 0.627 0 ± 0.094 4 |
| | 所有植物 | 0.787 7 ± 0.037 3 | 1.906 2 ± 0.110 8 | 0.732 3 ± 0.027 8 |
| 群落 C | 乔木层 | 0.528 3 ± 0.127 6 | 0.947 1 ± 0.348 8 | 0.694 9 ± 0.158 4 |
| | 所有植物 | 0.817 7 ± 0.052 0 | 2.087 9 ± 0.304 9 | 0.747 3 ± 0.074 1 |
| 群落 D | 乔木层 | 1.549 9 ± 0.111 6 | 1.994 7 ± 0.157 5 | 1.717 5 ± 0.113 6 |
| | 所有植物 | 1.787 9 ± 0.040 5 | 2.928 8 ± 0.093 9 | 1.760 5 ± 0.051 3 |

3.2 群落稳定性分析

到目前为止, 群落稳定性的测度方法很少。闫东峰等^[14]曾采用稳定性指数法对群落稳定性进行评价。本研究采用改进的 M-Gordon 稳定性测定方法, 采用直线方程分别对 4 种群落的总种数倒数累积和相对应的累积相对频度 2 个数值的散点图进行平滑曲线模拟, 模拟结果见表 2。可以看出: 4 个群落的模拟曲线的 R^2 值分别为 0.951, 0.908, 0.886 和 0.863, 方程显著性检验结果表明回归方程极显著 ($P<0.01$), 可以使用该曲线方程模拟两者的回归关系。

图 1 显示的是各群落采用 M-Gordon 稳定性测定方法计算的图解过程。借助 SPSS 16.0 软件, 利用平滑曲线模拟方程(1)和直线方程(2)绘制直线与曲线, 两者交点即为交点坐标, 各交点坐标见表 2。由 M-Gordon 测定群落稳定性原理知, 图中所求交点若趋近(20,80)的稳定点则稳定, 反之则不稳定, 但仅通过图的交点坐标无法直观说明各个群落稳定状态的大小关系, 因此本研究采用各个交叉点坐标与稳定点坐标的欧氏平方距离来描述各群落稳定性大小。结果见表 2。

表 2 群落稳定性分析结果

Table 2 Results of stability of Baotianman forest community

| 群落编号 | 拟合曲线 | R^2 | 交点坐标 | 欧氏平方距离 | 判定结果 |
|------|---------------------------------|---------|----------------|-----------|------|
| 群落 A | $y=-0.014x^2 + 1.984x + 27.772$ | 0.951** | (27.69, 72.31) | 118.272 2 | 不稳定 |
| 群落 B | $y=-0.011x^2 + 1.545x + 44.510$ | 0.908** | (24.57, 75.43) | 41.769 8 | 稳定 |
| 群落 C | $y=-0.011x^2 + 1.570x + 44.260$ | 0.886** | (24.14, 75.86) | 34.279 2 | 稳定 |
| 群落 D | $y=-0.008x^2 + 1.219x + 57.311$ | 0.863** | (20.88, 79.12) | 1.548 8 | 稳定 |

说明: ** 表示极显著相关。

群落稳定性判定结果表明: 除群落 A 与平衡点距离较大, 处于不稳定状态外, 群落 B, 群落 C 和群落 D 均处于稳定状态, 交点坐标与稳定点间坐标欧氏平方距离分别为 41.769 8, 34.279 2 和 1.548 8。群落 D 的稳定性最强, 交点坐标为(20.88, 79.12), 与稳定点的欧氏平方距离为 1.548 8, 群落 A 稳定性最差, 交点坐标为(27.69, 72.31), 与稳定点的欧氏平方距离达到 118.272 2, 这可解释为群落 D 的乔木层树种相对丰富, 混交度较大, 而群落 A 的乔木层则主要为单一的锐齿栎。这说明在森林生态系统中, 当在植物群落中占主导地位的为单一树种时, 群落就会处于不稳定状态, 这可能与单一种群对外界干扰抵抗力差并且存在着强烈的种内竞争有关, 而种类丰富的群落则显得更稳定一些。

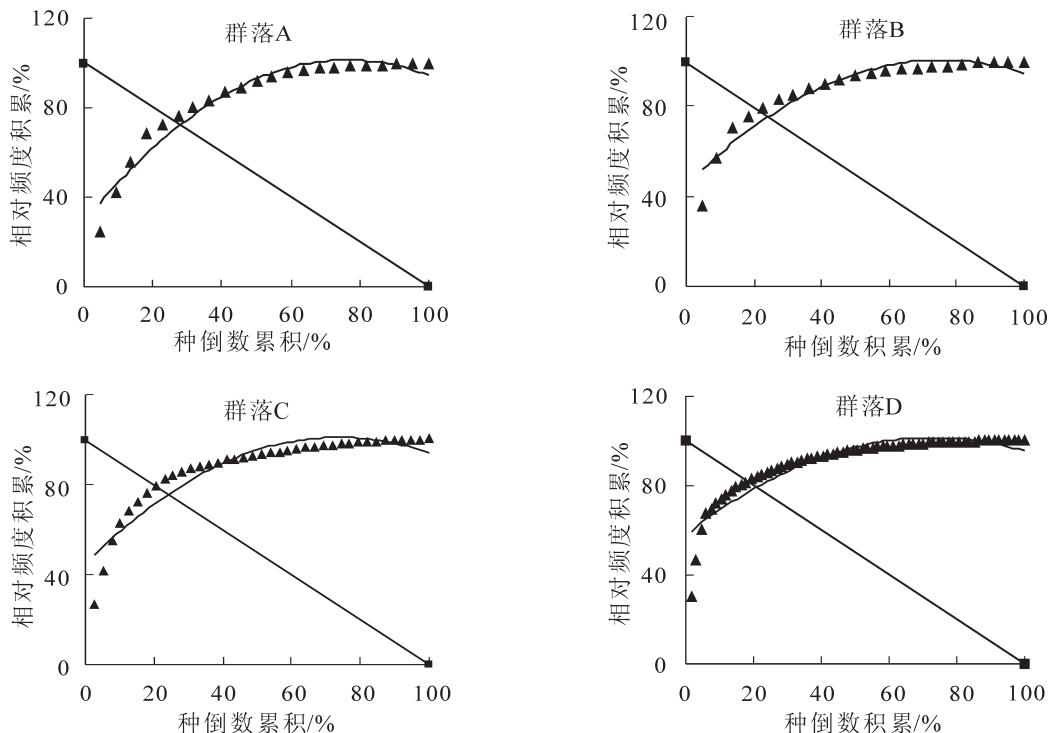


图 1 群落 A, 群落 B, 群落 C, 群落 D 稳定性图解

Figure 1 Stability graph for community A, B, C and D

3.3 多样性与稳定性关系

在 M-Gordon 稳定性测定方法中, 因为交点坐标与稳定点之间距离的大小与该群落的稳定性的强弱成反比关系, 所以为了便于比较, 我们可以将各交点坐标与稳定点坐标的距离取倒数, 然后乘以 10, 可根据该数值大小直接比较群落稳定性。得群落 A, 群落 B, 群落 C 和群落 D 的稳定性数值分别为 0.084 6, 0.239 4, 0.291 7 和 6.456 6, 群落之间稳定性强弱关系为: 群落 D>群落 C>群落 B>群落 A, 其大小关系与物种多样性指数计算结果相同。

为了进一步分析群落稳定性与多样性之间的关系, 将群落稳定性分析结果和表 2 中所有植物、乔木层物种多样性的变化趋势一起进行比较, 得两者之间的变化趋势(图 2)。该图可以清晰显示群落物种多样性与稳定性之间的耦合关系, 即 3 个物种多样性指数在乔木层、所有植物中表现出同样的趋势, 即该天

然林群落的物种多样性越大,稳定性就越强。

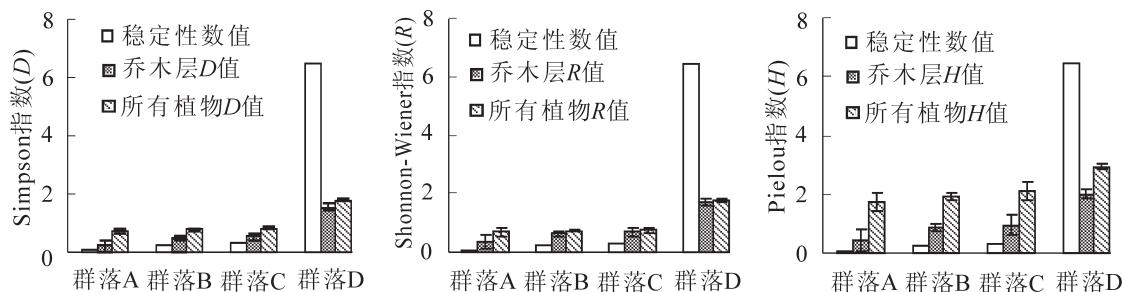


图2 乔木层和所有植物 Simpson 指数(D)、Shannon-Wiener (R)和 Pielou 指数(H)及群落稳定性在4个群落上的趋势

Figure 2 Simpson index, Shannon-Wiener index, Pielou index and community stability of tree layer and all plants in four community's tendency chart

分别计算各群落稳定性数值与乔木层和所有植物的3个多样性指数的相关系数。结果表明:各群落稳定性数值与各群落乔木层的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数的相关系数分别为 0.976 2, 0.953 5 和 0.975 8, 相关系数的双侧 t 检验结果表明: 显著性概率分别为 0.023 8, 0.046 5 和 0.024 2, 呈现显著的正相关关系 ($P<0.05$); 各群落稳定性数值与各群落所有植物的3个多样性指数的相关系数分别为 0.998 3, 0.968 0 和 0.999 7。相关系数的双侧 t 检验结果表明: 显著性概率分别为 0.001 7, 0.031 2 和 0.000 0, 也呈现显著或极显著的正相关关系。

4 结论与讨论

森林群落稳定性是一个非常复杂的问题,到目前为止,对群落稳定性及其影响机制和测度方法等还没有统一的认识和方法体系^[4]。在以线性演替模型为基础的稳定性测定时, M-Godron 法是一种比较系统全面的方法, 它是以群落整体特征为依据, 可以反映群落的发展及变化趋势, 在改进法中引入数学模型模拟, 使经典的 M-Godron 定量化, 同时, 还可构建更为复杂的数学模型, 甚至使指数小数化具有更高的可信度。这符合生态学发展规律。

在讨论物种多样性与群落稳定性之间的相关关系时, 本研究是在群落乔木层、灌木层、草本层所有植物多样性的基础上, 着重分析乔木层物种多样性。物种多样性指数分析表明, 乔木种群对群落具有支配作用, 决定着群落的发展趋势, 能够反映整个群落的多样性动态规律, 因此, 搞清乔木层多样性与群落稳定性的问题, 更有利于我们认知植物群落多样性与其稳定性之间的耦合关系。本研究通过群落物种多样性与稳定性相关机制的讨论, 认为在森林生态系统中, 物种多样性高度层次或群落可以导致较强稳定性, 两者具有显著的正相关关系。

该地区栎类天然林正处于剧烈的正向演替过程中, 在没有形成平衡的、稳定性较大的顶级群落之前, 群落物种多样性增加是生态系统水平上对生境变化的一种对策, 可以认为, 群落多样性值的高低能在一定程度上反映出群落稳定性的大小, 但群落多样性能否全面反映群落稳定性的大小, 尚待进一步探讨。

参考文献:

- [1] 沈年华, 万志洲, 汤庚国. 紫金山栓皮栎群落结构及物种多样性[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26 (5): 696 – 700.
SHEN Nianhua, WAN Zhizhou, TANG Gengguo. Community structure and species diversity of a *Quercus variabilis* forest on Mount Zijinshan [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, 26 (5): 696 – 700.
- [2] WARDLE D A. Experimental demonstration that plant diversity reduces invisibility—evidence of a biological mechanism or a consequence of sampling effect [J]. *Oikos*, 2001, 95: 161 – 170.
- [3] NAEEM S. Species redundancy and ecosystem reliability [J]. *Conserv Biol*, 1998, 12 (1): 39 – 45.
- [4] MCGRADY-STEED J, HARRIS P M, MORIN P J. Biodiversity regulates ecosystem predictability [J]. *Nature*, 1997, 390: 162 – 165.

- [5] LOREAU M. Biodiversity and ecosystem functioning: recent theoretical advance [J]. *Oikos*, 2000, **91**: 3 – 17.
- [6] 杨学民, 杨瑞卿, 张慧, 等. 徐州市城郊森林生态系统健康评价及管理对策[J]. 中国城市林业, 2007, **5** (1): 39 – 41.
- YANG Xuemin, YANG Ruiqing, ZHANG Hui, et al. Evaluation of suburb forest ecosystem health and management strategy in forest in Xuzhou [J]. *China Urban For*, 2007, **5** (1): 39 – 41.
- [7] 张文辉, 卢志军, 李景侠, 等. 秦岭北坡栓皮栎种群动态的研究[J]. 应用生态学报, 2003, **14** (9): 1427 – 1432.
- ZHANG Wenhui, LU Zhijun, LI Jingxia, et al. Population dynamics of *Quercus variabilis* on northern slope of Qinling Mountains [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2003, **14** (9): 1427 – 1432.
- [8] 汤孟平, 周国模, 施拥军, 等. 天目山常绿阔叶林群落最小取样面积与物种多样性[J]. 浙江林学院学报, 2006, **23** (4): 357 – 361.
- TANG Mengping, ZHOU Guomo, SHI Yongjun, et al. Minimum sampling area and species diversity of evergreen broadleaved forest community in Mount Tianmu [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, **23** (4): 357 – 361.
- [9] 史作民, 刘世荣, 程瑞梅, 等. 河南宝天曼植物群落数量分类与排序[J]. 林业科学, 2000, **36** (6): 20 – 27
- SHI Zuomin, LIU Shirong, CHENG Ruime, et al. Quantitative classification and ordination of plant communities in Baotianman, Henan province [J]. *Sci Silv Sin*, 2000, **36** (6): 20 – 27.
- [10] 哀建国, 梅盛龙, 刘胜龙, 等. 浙江凤阳山自然保护区福建柏群落物种多样性[J]. 浙江林学院学报, 2006, **23** (1): 41 – 45
- AI Jianguo, MEI Shenglong, LIU Shenglong, et al. Species diversity of *Fokienia hodginsii* community in Nature Reserve of Mount Fengyang in Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, **23** (10): 41 – 45
- [11] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究(Ⅱ)丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, **15** (3): 268 – 277.
- MA Keping, HUANG Jianhui, YU Shunli, et al. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China (Ⅱ) species richness, evenness and species diversities [J]. *Acta Ecolo Sin*, 1995, **15** (3): 268 – 277.
- [12] GODRON M. Some aspects of heterogeneity in grasslands of cantal [J]. *Stat Ecol*, 1972, **3**: 397 – 415.
- [13] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探[J]. 林业科学, 2000, **36** (5): 28 – 32.
- ZHENG Yuanrun. Comparison of methods for studying stability of forest community [J]. *Sci Silv Sin*, 2000, **36** (5): 28 – 32.
- [14] 闫东锋, 李纪亮, 何瑞珍, 等. 宝天曼栎类天然次生林群落稳定性研究[J]. 西北林学院学报, 2006, **21** (5): 69 – 73.
- YAN Dongfeng, LI Jiliang, HE Ruizhen, et al. Community stability of oak natural secondary forest in Baotianman Nature Reserve [J]. *J Northwest For Univ*, 2006, **21** (5): 69 – 73.
- [15] 丁惠萍, 张社奇, 钱克红, 等. 森林生态系统稳定性研究的现状分析[J]. 西北林学院学报, 2006, **21** (4): 28 – 30.
- DING Huiping, ZHANG Sheqi, QIAN Kehong, et al. Analysis of present scientific research situation in stability of forest ecosystem [J]. *J Northwest For Univ*, 2006, **21** (4): 28 – 30.