

广西防城金花茶自然保护区金花茶所在植物群落优势种的种间关联分析

Inter-specific Association among the Dominant Species in Yellow Camellia Community of Fangcheng Yellow Camellia Natural Reserve in Guangxi

庞洁¹, 卢广昌², 和太平³, 邓荣艳³

PANG Jie¹, LU Guang-chang², HE Tai-ping³, DENG Rong-yan³

(1. 广西大学行健文理学院, 广西南宁 530005; 2. 广西大学后勤管理中心, 广西南宁 530004; 3. 广西大学林学院, 广西南宁 530005)

(1. Xingjian College of Arts and Science, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530005, China; 2. Logistics Management Center, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 3. Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530005, China)

摘要:在 2×2 列联表基础上,采用方差比率法、联结系数AC值、Jaccard指数和 χ^2 检验对广西防城金花茶自然保护区金花茶(*Camellia nitidissima*)所在的植物群落样地中的25个优势种的种间关联进行定量分析。结果表明,该保护区金花茶所在的植物群落中25个优势种的总体关联性呈显著性正关联,反映出植物群落处于比较稳定的阶段。25个优势种组成的300个种对中,有4个种对具有极显著性正联结,10个种对具有显著正性联结,有5个种对具有极显著性负联结,8个种对具有显著性负联结,绝大多数种对联结系数未达到显著性水平,种对间的独立性相对较强。

关键词:种间关联 优势种 金花茶

中图分类号:Q948.15⁺4 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2010)02-0110-06

Abstract: A series of techniques including the analysis of variance, χ^2 -test, association coefficient (AC), Jaccard index were used based upon the 2×2 contingency table to examine the species association between 25 dominant species in Yellow Camellia plant community of Fangcheng Yellow Camellia Nature Reserve in Guangxi. The result indicates that: the overall association between 25 dominant species was significantly positive, which suggests that the plant community is stable. Among total 300 pairs in 25 dominant species, 4 species pairs exhibited extremely significantly positive association, 10 species pairs showed significantly positive association, 5 species pairs showed extremely significantly negative association, 8 species pairs exhibited significantly negative association. The insignificant association of the rest of species pairs indicates they are independent.

Key words: inter-specific association, dominant species, yellow Camellia

植物的种间关联是指不同植物物种在空间分布上的相互关联性,通常是由于植物群落生境的差异

影响了物种的分布而引起的。植物种间联结性就是对各个植物物种在不同生境中相互影响或相互作用所形成的有机联系的反映^[1,2]。植物群落内种间复杂的相互关系,对植物群落结构形成、群落发展方向和过程都将发生重大影响。

收稿日期:2009-09-23

修回日期:2010-03-22

作者简介:庞洁(1983-),女,硕士,助教,主要从事生态园林工作。

金花茶组(*Camellia* Sect. *Chrysantha* Chang)属

山茶科 (Theaceae) 山茶属植物,具有很高的观赏、科研及开发利用价值,素有“植物界的大熊猫”、“茶族皇后”之称,是国际著名的珍稀植物。广西防城金花茶自然保护区位于广西防城港市防城区,主要保护对象为金花茶组植物及其生境,是世界金花茶组植物的分布中心^[3]。自然保护区内有金花茶植物3种:金花茶 (*Camellia nitidissima*)、显脉金花茶 (*C. euphlebia*) 和东兴金花茶 (*C. tunghinensis*),所在植物群落生态系统保存较完整,具有典型代表性的金花茶所在植物群落林分发育良好,大致可分为乔木、灌木、草本三层。乔木林冠又可分为3个亚层:第1亚层树高 $\geq 15\text{m}$, 主要由鸭脚木 (*Schefflera octophylla*)、白颜树 (*Gironniera subaequalis*) 等组成,树冠稀疏;第2亚层以假苹婆 (*Sterculia lanceolata*)、臀果木 (*Pygeum topengii*) 为常见种,树高为 8~15m,树冠较稠密;第3亚层除上述树种的中小个体外,主要是水锦树 (*Wendlandia uvariiifolia*)、水石梓 (*Sarcosperma laurinum*) 等,树高 $\leq 8\text{m}$ 。金花茶的分布群落垂直结构复杂,灌木层较稠密,主要分布金花茶、显脉金花茶、东兴金花茶、九节 (*Psychotria rubra*) 等,群落中具有不同数量的金花茶组植物,其密度级一般为 7.5 株/100 米²~16.3 株/100 米²,其中最密集的地方,达 70 株/100 米²。草本层不发达,但其中蕴藏着不少的兰科植物和其它珍稀物种,常见的物种有沿阶草 (*Ophiopogon bodinieri*)、菝葜类 (*Smilax* sp.) 等。最常见的藤本为买麻藤 (*Gnetum montanum*)、山鸡血藤 (*Millettia dielsiana*)。金花茶所在植物群落复杂的垂直结构与其所在生境湿润多雨、阳光充足的气候条件是分不开的。

本文选用植物种间联结的种技术,分析测定金花茶所在植物群落的优势树种种间关联的内在生态学机制,以助于了解金花茶所在植物群落的发生、发展、更新演替过程,为开展金花茶所在植物群落的生态系统研究、生物多样性保护及有效保护金花茶野生种群提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

广西防城金花茶国家级自然保护区地理坐标是 108°07'04"~108°07'25"E 和 21°45'04"~21°45'15"N,地处十万大山的蓝山支脉,属北热带季风气候区,总面积 9195.1hm²,年日照时数为 1525h,年均气温 21.9℃,年均降雨量 2900mm 以上,地带性植被为热带季雨林^[4]。

1.2 样地调查方法

植物种间联结测定的精确性在很大程度上取决于取样面积和取样数目。根据文献^[5]研究得出的 100m² 取样面积的适宜取样数目 30~50 个,考虑金花茶在防城金花茶自然保护区的分布范围有限,我们于 2007 年 1 月,采用典型取样法,在保护区内分布金花茶比较集中的地方,设置 10m×10m 的样方 35 个,调查记录维管束植物的种名、株数等。调查总面积 3500m²。

1.3 数据处理

1.3.1 重要值计算和优势树种选择

选用文献^[6]中的公式计算维管束植物种的重要值,其中乔木树种的重要值=相对密度+相对盖度+相对频度,灌木种或草本种的重要值=相对高度+相对盖度+相对频度。

根据重要值的排序及与频度关系的分析,选择出 25 个优势树种(在 35 个样方中出现 10 次以上): 1. 金花茶; 2. 显脉金花茶; 3. 东兴金花茶; 4. 大沙叶 (*Aporosa chinensis*); 5. 单穗鱼尾葵 (*Caryota monostachya*); 6. 广西山矾 (*Symplocos kwangsinensis*); 7. 猴欢喜 (*Sloanea sinensis*); 8. 鸡屎树 (*Lasianthus hirsatas*); 9. 假苹婆; 10. 假鹰爪 (*Desmos chinchenensis*); 11. 九节; 12. 锯叶竹节树 (*Carallia diplopetala*); 13. 披针叶乌口树 (*Tarenna lancilimba*); 14. 棋子豆 (*Cylindrokelupha robinsonii*); 15. 山石榴 (*Randia spinosa*); 16. 水锦树; 17. 水石梓; 18. 臀果木; 19. 香楠 (*Adia canthioides*); 20. 小芸木 (*Micromelum integerrimum*); 21. 雄鸡树 (*Litsea variabilis* f. *chinensis*); 22. 鸭脚木; 23. 中华山小橘 (*Glycosmis pseudoracemosa*); 24. 朱砂根 (*Ardisia crenata*); 25. 紫凌木 (*Decaspermum fruticosum*)。

1.3.2 多树种间关联性测定

采用方差比率法 (VR) 来检验多物种间的关联,以说明在某地出现的多个物种间是否存在显著性联结。先作零假设,即 N 个优势种群间无显著关联,按公式^[6,7]: $\delta_7^2 = \sum_{i=1}^s p_i(1-p_i)$, $p_i = n_i/N$, $S_7^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2$, $VR = S_7^2/\delta_7^2$, 计算检验统计。式中 S 为总的物种数, N 为总样方数, T_j 为样方 j 内出现的研究物种总数, n_i 为物种 i 出现的样方数, t 为样方中种的平均数。在独立性假设条件下期望值为 1, $VR > 1$ 表示物种间表现出正的关联; $VR < 1$ 表示物种

间存在负的净关联。采用统计量^[7] $W = N \times (VR)$ 来检验VR值偏离1的显著程度,若物种不显著相关,则W落入由下面 χ^2 分布给出的界限的概率为0.9: $\chi_{0.95(N)}^2 < W < \chi_{0.05(N)}^2$ 。

1.3.3 成对树种间关联性测定

为了求出种间的关联系数和测定其关联的显著性,采用 2×2 联列表的形式统计各种对的具体数据,即a、b、c、d值,其中,a表示种A与种B同时出现的样方数,b表示只有种B出现的样方数,c表示只有种A出现的样方数,d表示种A与种B都不出现的样方数^[6]。将各样方调查资料统计数据排列成 2×2 联列表,计算种间关联测度。

联结系数(AC),其计算公式为^[6~8]:若 $ad \geq bc$ 则 $AC = (ad - bc) / [(a + b)(b + d)]$;若 $bc > ad$ 且 $d \geq a$ 则 $AC = (ad - bc) / [(a + b)(a + c)]$;若 $bc > ad$ 且 $d < a$ 则, $AC = (ad - bc) / [(b + d)(d + c)]$ 。AC的值域为 $[-1, 1]$ 。AC值越趋近于1,表明物种正联结性越强;AC值越趋近于-1,表明物种负联结性越强;AC值为0,物种间完全独立。

Jaccard指数,也称共同出现百分率或物种群落系数,是用来测度物种间相伴出现几率和正联结程度,其计算公式为^[6~8]: $JI = a / (a + b + c)$ 。JI的值域为 $[0, 1]$ 。其值越趋近于1,表明该种对的正联结程度越高。

χ^2 检验^[6~8]:

$$\chi^2 = \frac{N(|ad - bc| - 0.5N)^2}{(a + b)(c + d)(a + c)(b + d)}$$

其中:N为取样总数,a、b、c、d同上,由于关联有两种类型,若 $(ad - bc) > 0$ 为正联结,若 $(ad - bc) < 0$ 为负联结,若 $ad = bc$,则表明两种间无关联。根据 χ^2 值查表^[9], $\chi_{0.05}^2 = 3.841$, $\chi_{0.01}^2 = 6.635$ (自由度为1),当 $\chi^2 < 3.841$ 时说明种间联结独立;当 $\chi^2 > 6.635$ 时说明种间联结极显著;当 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 时说明种间联结显著^[7]。

2 结果与分析

2.1 多树种间关联性分析

根据25个主要优势树种之间的存在与不存在矩阵,运用上述多树种间关联性测定公式计算 $VR = 1.647 > 1$,说明25个植物种群间表现出净的正关联。在根据统计量W来检验VR值偏离1的显著性: $W = N \times (VR) = 57.662$,查表^[9]得 $\chi_{0.95(35)}^2 = 22.465$, $\chi_{0.05(35)}^2 = 49.802$,说明VR偏离1显著,显示25个植物种群间的整体关联性为显著的正关联。多

树种间关联性反映了植物群落的稳定性,一般来说,随着植被群落演替的进展,植物群落结构及其种类组成将逐渐趋于完善和稳定,种间关系也将同步趋于正相关,以求得多物种间的稳定共存^[10,11]。广西防城金花茶自然保护区金花茶所在植物群落优势树种的多树种间关联性为显著的正关联,表明植物群落中的一些种的存在对另一些种存在是有利的,同时也说明该植物群落已处于和该地区环境条件相适应的稳定阶段。

2.2 成对树种间关联性分析

根据25个主要优势树种种对之间的存在与不存在矩阵,排成 2×2 联列表,再运用上述成对树种间关联性测定公式,计算出25个主要优势树种种间关联测定各指标值,分别作半矩阵图,其中联结系数AC值如图1所示,共同出现百分率JI值如图2所示,和 χ^2 值如图3所示。

2.2.1 联结系数

由图1可见,在25个优势树种的300个种对组合中,AC值为-0.1~0.1有89对,0.6~1有19对,0.4~0.6有17对,0.1~0.4有72对,-1~-0.6有26对,-0.6~-0.4有23对,-0.4~-0.1有54对,分别占29.67%、6.33%、5.67%、24.00%、8.67%、7.67%、18.00%,大多数种对值比较低,其中-0.4~0.4占71.67%,说明多数种对联结性很弱,物种间相对独立;种对4-13、11-13、11-15、11-17、11-18、11-23、11-25的AC值为1,说明二者之间存在着完全的正联结;正联结种对(167对)多于负联结种对。种对正联结的比例比负联结的大,表明其它大部分树种易与这些优势种群混生,形成较为相对稳定植物群落;同时这些优势种群大部分也呈正联结,生态位重叠较大^[12],表明金花茶所在植物群落中主要优势种形成共优状态。该分析结果与多树种间关联显著性测定的结果是一致的。金花茶与各树种的AC值较小,其中较大的有猴欢喜0.49、山石榴0.49、紫凌木0.44、水锦树0.29、小芸木0.24等,而与其许多物种因异质环境的影响造成负联结的有单穗鱼尾葵-1、广西山矾-0.51、棋子豆-0.55、鸭脚木-0.49等;显脉金花茶与各树种的AC值较大有单穗鱼尾葵0.62、鸡屎树0.49、棋子豆0.30等,与其负联结非常明显的有披针叶乌口树-1、广西山矾-0.76、山石榴-0.76、中华山小橘-0.66等;东兴金花茶与广西山矾0.30、披针叶乌口树0.25、棋子豆0.25等树种的AC值较大,而与山石榴-0.42、水锦树-1、紫凌木

—0.73 等树种有明显的负联结。说明本保护区 3 种金花茶与其他优势种间的联结系数均不高,大多数物种间是独立的。

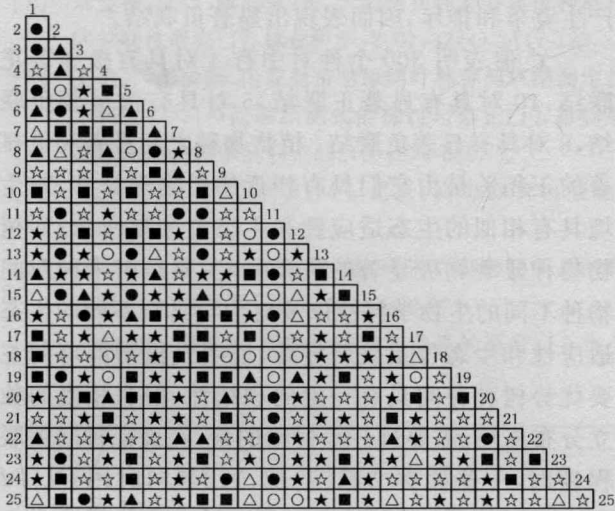


图1 种间联结 AC 值半矩阵(种序号与前述物种号一致)
Fig.1 Half-matrix diagram of AC of inter-specific association in the community (The species numbers are the same above)

☆: $-0.1 \leq AC \leq 0.1$, ○: $0.6 \leq AC \leq 1$, △: $0.4 \leq AC < 0.6$, ★: $0.1 < AC < 0.4$, ●: $-1 \leq AC \leq -0.6$, ▲: $-0.6 < AC \leq -0.4$, ■: $-0.4 < AC < -0.1$ 。

2.2.2 共同出现百分率

由图 2 可见,JI 值为 0 有 7 对(7.00%),0~0.2 有 50 对(16.67%)、0.2~0.4 有 147 对(49.00%)、0.4~0.6 有 79 对(26.33%)、0.6~1 有 17 对(5.67%);JI 值为 0 的种对,表明它们之间无关联,完全不可能出现在同一生境中;大部分种对的值在 0.4 以下,共有 204 对,占 68.00%,说明这部分种对之间联结程度不显著。金花茶与各树种的 JI 值较大,其中较大的有猴欢喜 0.50、山石榴 0.50、紫凌木 0.50、水锦树 0.42、小芸木 0.45 等,与其余的树种的 JI 值大多数介于 10%~40%;显脉金花茶与各树种的 AC 值较大有单穗鱼尾葵 0.60、鸡屎树 0.50、棋子豆 0.39 等,而显脉金花茶与披针叶乌口树的 JI 值为 0 的种对;东兴金花茶与广西山矾 0.38、披针叶乌口树 0.35、棋子豆 0.35 等树种的 AC 值较大,与其余的树种的 JI 值大多数介于 10%~40%。可以看出,本保护区 3 种金花茶与其他优势种共同出现的百分率均不高。

2.2.3 χ^2 检验

图 3 结果表明,300 个植物种对联结关系中,只有 4 对(1.33%)具有极显著正联结,10 对(3.33%)具有显著正联结,表明这些种常相伴出现,原因在于

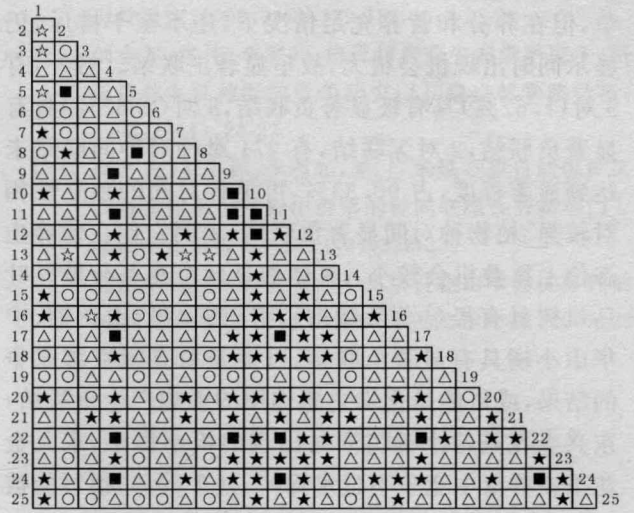


图 2 种间联结 JI 值半矩阵(种序号与前述物种号一致)
Fig.2 Half-matrix diagram of JI of inter-specific association in the community (The species numbers are the same above)

☆: $JI = 0$, ○: $0 < JI < 0.2$, △: $0.2 \leq JI < 0.4$, ★: $0.4 \leq JI < 0.6$, ■: $0.6 \leq JI$ 。

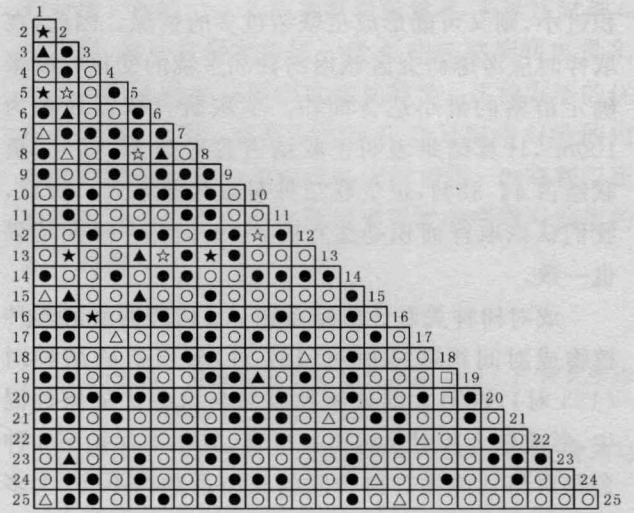


图 3 种间联结 χ^2 检验半矩阵(种序号与前述物种号一致)
Fig.3 Half-matrix diagram of χ^2 -test of inter-specific association in the community (The species numbers are the same above)

正联结: ☆: $\chi^2 \geq 6.635$, △: $6.635 > \chi^2 \geq 3.841$, ○: $\chi^2 < 3.841$; 负联结: ★: $\chi^2 \geq 6.635$, ▲: $6.635 > \chi^2 \geq 3.841$, ●: $\chi^2 < 3.841$; 无联结: □: $ad=bc$ 。

树种生态学特性,及对环境要求的差异和互补性,导致各种之间相互兼容,互相促进生长,即一些树种出现为其它树种提供良好环境条件,例如,金花茶与猴欢喜、山石榴、紫凌木具有显著正联结,主要由于金花茶与山石榴同质生境有相同的适应性;又如显脉金花茶与单穗鱼尾葵具有极显著正联结,与鸡屎树具有显著正联结,因为它们都属于灌木或小乔木,能在林内混生,对条件要求相似性,虽对资源有可能竞

争,但在养分和营养充足情况下,还不至于排斥,仍显示同时出现机会很大,故呈显著正联结。另外,有5对(1.67%)具有极显著负联结,8对(2.67%)具有显著负联结,2对无联结,有271对种对种间联结未达到显著程度,占90.33%,可见种对间的独立性相对较强。植物种对间显著负联结,表明它们在营养生态位上重叠机会较小,具体如显脉金花茶与披针叶乌口树具有极显著负联结,与广西山矾、山石榴、中华山小橘具有显著负联结,可能是对有限资源竞争的结果,或可能是化学它感作用的影响产生负联结;东兴金花茶与水锦树同时出现的机率很小,东兴金花茶在群落中竞争不过水锦树,处于劣势,很可能被演替,故东兴金花茶与水锦树具有极显著负联结。

3 讨论

一般认为,植物种间的联结是受取样面积影响的,取样面积过大,则可能多是正联结的,而取样面积过小,则又可能形成负联结过多的情况。因此,在取样时应考虑研究区域内物种和生境的变化幅度来确定群落的最小适合面积。本次研究取样面积为100m²,计算结果表明正联结占总对数55.67%,负联结占44.33%,正负联结种对数相差不大。所以,我们认该取样面积是适宜的,与王伯荪^[8]研究结果也一致。

成对树种关联性联结系数AC值表明优势树种植物成对间正联结种对(167对)多于负联结种对(133对),说明大部分树种容易与这些优势树种混生,形成较为相对稳定植物群落。其中本保护区3种金花茶与其他优势树种间的联结系数均不高,大多数树种间是独立的。植物物种间的正联结体现了物种利用资源的相似性和生态位的重叠性,或者一个种的存在对另一个种有利,也说明它们之间具有相似的生境要求。金花茶是耐阴性的树种,要求温暖湿润的气候,在郁闭度0.6~0.8的范围内生长较为良好,但过度荫蔽则会造成植株生长不良。如臀果木、水石梓等树种,多为高大乔木,而且冠幅大,对金花茶的生长不利,造成其重要值很低。而小芸木、山石榴等树种由于树高的限制,加上生长常有一定角度,所以金花茶能得到充足的阳光,生长较好。而物种对的负联结体现了物种间的排斥性,是长期适应不同的微环境,利用不同资源空间的结果,也是生态位分离的反映。

共同出现百分率JI值为0的种对有7对,如显脉金花茶与披针叶乌口树,说明它们之间无关联,完

全不可能出现在同一生境中,这可能因为不同种对树种对金花茶所在植物群落中微环境的需求不太一致,加上环境营养空间和资源的有限性,为争夺资源产生竞争和排斥,因而表现出显著负联结。

χ^2 值表明300个种对中有4对具有极显著正联结,10对具有显著正联结,5对具有极显著负联结,8对具有显著负联结。植物物种之间显著和极显著的正相关是由它们具有相近的生物学特性,对生境具有相似的生态适应性和生态位分化所致;而植物物种显著和极显著的负相关,主要是由于种对间物种不同的生物学特性以及对生境具有不同的生态适应性和生态位重叠所导致,说明该植物群落的主要优势树种间具有一定的联结性,但有相当的独立分布格局。需要进一步讨论的是,在表征种间关联程度时,一些同类文献^[7,13,14]都同时用OI、DI和JI3个指数,其结论也证明上述3个值具有很高的相似性,且实质上是等效的。它们都不受d值的影响,不会出现如联结系数那样受d值影响大而造成偏差,其中,OI或DI数值相对较大,因此在计算植物物种间关联程度时,本文只计算其中一种指数(JI值)即可。

本文对金花茶所在植物群落中25个优势树种的种间联结研究,只提供一种客观认识方法,但要如何将该研究结果与金花茶所在植物群落中各种群的演替过程联系起来,有待于今后进一步研究。各种种间联结的测定值所指示的种间关系只是说明竞争的结果或现状,不能揭示其过程,种间协变和生态位重叠研究有可能成为其替代方法。

此外,在我们实际的调查中发现,在保护区内仍存在人为干扰破坏因素,如当地农民砍伐、放牧、盗挖等,使金花茶所在植物群落中处于灌木层的花茶稀少,这对金花茶所在植物群落发展演替极为不利。因此,加强金花茶的自然保护仍然是必需的。

参考文献:

- [1] 张桥英,彭少麟,张素梅,等. 澳门松山市政公园优势种的种间关联性分析[J]. 生态环境,2008,17(4):1541-1547.
- [2] 黄云鹏. 武夷山米槠林主要树种种间关联性[J]. 山地学报,2008,26(6):692-698.
- [3] 林林. 防城金花茶保护区[J]. 广西林业,2000(4):36.
- [4] 庞洁,和太平,黎向东,等. 防城金花茶国家级自然保护区植物群落的聚类分析[J]. 广西科学院学报,2008,24(3):189-193.
- [5] 彭少麟,王伯荪. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技

术Ⅱ:取样技术[J]. 热带亚热带森林生态系统研究, 1985,3:167-173.

[6] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社,2004.

[7] 刘金福,洪伟,樊后保,等. 天然格氏栲林乔木层种群种间关联性研究[J]. 林业科学,2001,37(4):117-123.

[8] 王伯荪,彭少麟. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究(Ⅰ):种间联结测式的探讨与修正[J]. 植物生态学与地植物学丛刊,1985(9):274-285.

[9] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 北京:高等教育出版社,2003.

[10] 朱利君,苏智先,胡进耀,等. 珙桐群落种间关系的研究[J]. 广西植物,2006,26(6):32-37.

[11] 刘萍萍,程积民. 植物种间联结关系的研究[J]. 水土

保持研究,2000,7(2):179-184.

[12] 刘金福,洪伟,李家和. 格氏栲群落生态学研究Ⅱ:格氏栲林主要种群的竞争研究[J]. 福建林学院学报,1998,18(1):24-27.

[13] 周叶先,王伯荪,李鸣光,等. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析[J]. 植物生态学报,2000,24(3):332-339.

[14] 邢韶华,赵勃,崔国发,等. 北京百花山草甸优势种的种间关联性分析[J]. 北京林业大学学报,2007,29(3):46-51.

(责任编辑:邓大玉)

(上接第 109 页)

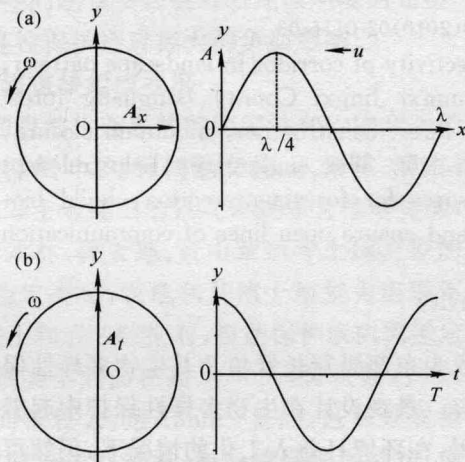


图 7 $t = 0$ 时沿 x 轴负向传播的波形(a)和 $x = \lambda/4$ 处的振动曲线(b)

析以及类比于利用振动旋转矢量 A_t 描述简谐振动的方法,我们引入了波动旋转矢量 A_x 来描述时刻 t_0 的波形,并通过振动旋转矢量 A_t 和波动旋转矢量 A_x 来实现振动曲线与波形的相互转换. 这种方法的优点是直观、可靠,有利于学生在学习振动与波的内容时对相位的概念和相位变化的理解,也有利于正确作出波动过程中的波形和实现振动曲线与波形的相互转换.

参考文献:

[1] 杨庆怡. 用旋转矢量描述简谐振动[J]. 广西大学学报:自然科学版,2002,27(Sup):145-147.

[2] 何长英. 旋转矢量在机械波教学中的应用[J]. 物理与工程,2007,17(4):15-17.

5 结束语

通过对简谐振动与平面简谐波的相位特征的分

(责任编辑:韦廷宗)