

陆地植物群落物种多样性研究进展

王永健^{1,2}, 陶建平^{1,2*}, 彭月^{1,2}

(1. 西南大学 生命科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 生物多样性是当前生态学研究热点之一, 物种多样性层次是最直接、最易观察和最适合研究生物多样性的层次。总结了与群落动态、生境因子、取样尺度及生态系统相关的陆地植物物种多样性研究。同时, 根据目前的趋势提出了多样性动态研究的发展动向。

关键词: 群落演替; 生态系统稳定性; 生境因子; 更新; 物种多样性

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2006)04-0406-06

Advances in species diversity of terrestrial plant communities

WANG Yong-jian^{1,2}, TAO Jian-ping^{1,2*}, PENG Yue^{1,2}

(1. Faculty of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Key Laboratory of Eco-environments of Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Biodiversity is viewed as one of significant focuses in ecology nowadays, species diversity which can be easily touched and observed is suitable for biodiversity studies. This paper discussed the studies on species diversity of terrestrial plant community from the angles of community dynamics, community habitat factors relations, different sampling measure and ecosystem relations, and gave an outlook for the development according to current research.

Key words: community succession; ecosystem stability; habitat factor; regeneration; species diversity

生物多样性是当前群落生态学研究十分重要的内容和热点之一(黄忠良等, 2000)。目前生物多样性的研究以物种多样性的研究较多(郭正刚等, 2003)。物种多样性代表着物种演化的空间范围和对特定环境的生态适应性, 是进化机制的最主要产物及生物有机体本身多样性的体现, 所以物种被认为是最直接、最易观察和最适合研究生物多样性的生命层次(李博, 2000)。物种多样性的研究既是遗传多样性研究的基础, 又是生态系统多样性研究的重要方面。大部分研究都是通过物种丰富度、均匀度、生态优势度和多样性等指数共同说明群落物种多样性, 因为用单一的指数来体现群落多样性状况

都是不足的。许多学者(贺金生等, 1997; 马克平等, 1998; 唐志尧等, 2004)曾分别对物种多样性的梯度变化及垂直格局、物种多样性的保护、物种多样性与生态系统功能的关系等内容进行了综述。本文总结了与群落动态、群落生境因子、不同取样尺度及生态系统等相关的物种多样性变化特点, 并对植物群落多样性的研究进行了展望。

1 基于群落动态的物种多样性研究

1.1 与自然干扰(演替、自然更新)相关的多样性研究

植物群落的演替过程就是群落中物种组成不断

收稿日期: 2005-06-09 修回日期: 2005-12-12

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB111505); 国家自然科学基金项目(30300047)[Supported by the State Key Basic Research and Development Plan of China(2002CB111505); the National Natural Science Foundation of China(30300047)]

作者简介: 王永健(1982-), 男, 贵州独山人, 硕士研究生, 主要从事植物群落生态学研究。

* 通讯联系人(Author for correspondence)

发生变化、更替及群落环境中生化的过程(严岳鸿等,2004)。群落演替过程中的多样性特征是研究群落多样性时空动态规律的重要内容。十九世纪以来,对群落演替的研究从描述方面渐渐向功能解释方面发展,在解释多样性变化的根本原因与本质规律上取得显著进步。近年来,许多学者(严岳鸿等,2004;Sheil,2001)研究了群落演替过程多样性动态、变化规律及其对不同演替阶段生态响应等。虽研究的区域不同,环境差异可能很大,但其变化趋势大体上是相似的,是随演替特别是次生演替的发展,先增加,后降低的。在群落的垂直结构中,随着演替进行,乔木层的物种多样性表现为单峰曲线,曲线的弧度在不同区域不同演替上差异较大;灌木层的变化与乔木层较为相似,因为演替初期只包含了少数阳性物种,随着演替进行,在竞争较强且郁闭度适中时能容纳更多的中性及阴性树种,演替后期郁闭度很大且种间关系稳定,容纳物种有所下降。对于林下植物,其物种组成及其适应环境的能力与其所处的上层群落密切相关。草本层多样性与上层特别是灌木层的郁闭度关系密切,演替过程中林下光照的变化是影响草本层物种多样性高低的重要因素,在演替中期林下较多的光斑是有利于许多中性及阴性物种生存的,一般此时的多样性最高(金则新,2002)。在这方面,多样性研究渐渐从物种的组成与变化向多样性对演替过程中生境异质化的响应、多样性功能(如多样性与稳定性的关系等)方面发展。

林隙更新指由于植物个体枯倒、死亡或其它因素造成的林隙中,由原种群或相同性质的种群的新个体所代替的动态过程(王微等,2004)。林隙更新对森林结构动态和物种多样性的维持具有重要的影响。目前有较多与林隙更新相关的研究(Tabarelli等,2000;边巴多吉等,2004),不同物种对林隙的响应可能是不同的,一般表现为,林隙内的物种多样性(特别是灌木层与草本层)高于非林隙的,这很大程度上是因为林隙内光照较好,使得灌木与草本更加丰富。同时,更新层的物种多样性受林隙更新的影响最大,大体上随林隙年龄的变化,表现为单峰曲线。林隙的大小对物种多样性也有影响,但变化规律因地制宜。许多研究者通过研究幼苗幼树生长的时空动态来研究群落的更新(陶建平等,2004),幼苗更新在许多植物群落内普遍存在,是植被发展的潜在力量,在多样性垂直格局的研究中对底层植被的多样性是具有显著影响的,很多研究都忽略其作用。

种子作为潜在种群,与群落内物种更新的关系十分密切。虽然有研究发现种子库多样性与群落物种多样性关系不显著,由于种子的出苗率限制了一些物种在群落中存在与发展,这样种子库多样性就高于物种多样性;有的由于群落中具有非种子繁殖物种,如通过贮藏根和无性系分株等繁殖的种,这样种子库多样性低于物种多样性(于顺利等,2003;Pandey等,2003),但是种子是群落更新的内在因素,对物种多样性是具有影响的。此方面的研究多是环境因子、地表植被及干扰等对种子更新进程的影响(Bossuyt等,2002;Pandey等,2003)。林隙更新、幼苗更新及种子更新与多样性之间关系的研究是与群落演替密切相关的。

1.2 与人为干扰(退化、恢复)相关的多样性研究

物种多样性的恢复是群落和生态系统恢复过程最重要的特征之一,也是研究植被演替的重要手段之一。许多学者为了了解群落恢复过程与机理,并探求恢复和重建的有效途径,进行了大量与群落恢复相关的多样性研究(Halpern等,1995;Leak等,1997)。恢复过程中多样性的变化大体趋势为低—高一较高,但恢复的途径及自身特点有着明显的作用,如人工播种恢复可能不及自然恢复的起伏大,竞争、入侵、生态位分化等差异显著,因此多样性变化的规律可能不同。恢复的目的是使植被具有高的物种多样性,同时也要保证环境的稳定性,所以,探讨多样性的形成与维持机理有助于保证植被恢复多样性及稳定性的维持。研究植被恢复过程中物种多样性的变化和发展,对于认识群落生态过程,揭示群落生态规律和加速退化生态系统的重建与恢复具有十分重要的意义。对森林的抚育与管理也是影响植被恢复过程多样性的人类干扰,其作用不容忽视(Hansen等,1991;Nagaike等,2003)。当前,植被恢复过程中多样性的研究趋向于探讨多样性恢复的机制和多样性维持的机理,指导恢复和重建、保护和可持续发展的实际作用。

对群落在不同干扰类型下生物多样性变化的研究是生态系统恢复与重建过程中极其重要的内容之一。许多学者研究了不同程度人为干扰对草原、森林及城市地区植物等的多样性的影响(郭正刚等,2004;Schwilk等,1997)。一般来说,中度干扰是最有利的,多样性一般最高,干扰相对较少的具有较高的多样性,而一些极端退化的多样性都较低,但还要看物种所处环境的状况及其它限制因素;有的研究

表明(Schwilk 等,1997),中度干扰假说并不适用,高火烧干扰条件下多样性最高,这是与其生境及对干扰的长期适应决定的。不同类型和强度的干扰对多样性有着不同的影响,我们如何能够在保持高物种多样性的前提下,进行人类活动,更要保持生态系统的稳定发展?这正是可持续发展的重大问题。研究干扰条件下退化群落的多样性,对于探讨不同(人类)干扰强度对多样性的效应以及指导群落恢复与发展有重要意义。

2 与群落生境因子相关的物种多样性研究

2.1 水平梯度上物种多样性研究

水平梯度上,物种多样性的纬度梯度变化最为明显。大尺度上,从赤道向两极,物种丰富度和多样性是降低的;在南北半球,从低纬度向高纬度生物多样性的减少速率是不对称的;热带森林群落物种多样性之间存在着极大差异,温带森林之间差异较小;南半球的温带森林和北半球相比,多样性较低(贺金生等,1997)。区域环境内生物多样性的变化差异较大,北美树木物种多样性纬度变化不明显,与年蒸散有关(Currie,1991)。在我国,随着从北到南纬度的不断降低,落叶阔叶林乔木层、灌木层的物种多样性指数不断增加,草本层的物种多样性先增加后又降低。水平梯度上的另一种变化规律是经向的,水分是其主导因子。物种多样性与水分的关系主要有6种模式,植物群落物种多样性同水分之间的关系在不同地区是不一致的,而且不同植物群落或物种与水分的相关关系也是不同的(吴勇等,2001)。

2.2 垂直梯度上物种多样性研究

海拔变化是植物群落物种分布和组成的决定性因素,植物群落的垂直结构主要受地带性气候所确立的水热组合影响(郭正刚等,2003)。山地植物群落物种多样性随海拔高度的变化规律一直是生态学家感兴趣的问题,群落内垂直层次结构及其物种多样性的动态是群落内垂直生态梯度的直接反映。但是,物种多样性随海拔变化的规律是复杂的,在一般情况下, α 多样性的垂直格局基本符合“单峰”模式; β 多样性随着海拔的升高而降低;也有多样性随海拔升高单调下降,大多与水热垂直差异明显相关(李宗善等,2004);另外,也有表现出中间海拔梯度群落物种多样性最高,这种情况下多样性同时还与群落

生产力水平有关(王长庭等,2004);还有,由于许多影响因子的作用差异较大, α 多样性沿海拔梯度无明显规律(朱彪等,2004)。多尺度海拔差值下的多样性海拔梯度研究具有更强的可比性,可使多样性变化更明显的表现出来(Kalkhan 等,2000)。

2.3 与土壤因子相关的物种多样性研究

植物物种多样性与土壤养分水平的关系,也是研究植物与环境间关系的重要内容之一。它们间的关系是复杂的,土壤中的 N、P、K 的水平与植物群落物种多样性之间存在着显著的相关关系,土壤许多酶的活性与植物多样性在不同程度上具有一定的正相关关系(杨万勤等,2001);土壤含水量和水解氮与乔木层物种多样性有一定的相关性(陈光升等,2004)。

2.4 与地形因子相关的物种多样性研究

坡向坡位等地形因子对物种多样性的影响也是比较复杂的。对于苔藓植物层片来说,坡向是形成其物种多样性组成和结构差异的重要环境因素(雷波等,2004),这可能与它引起的生境差异有关。有研究(沈泽昊等,2000)发现三峡大老岭森林地形因子对 α 多样性影响的大小顺序是:坡位 > 海拔 > 坡向 > 坡面 > 坡度 > 坡形。由于小气候的关系(许再富等,2004),片断热带雨林的植物物种丰富度和物种多样性指数相对较低。生境异质性是引起群落物种多样性动态及差异的重要因素,而这些异质生境很大程度上是由环境因子(尤其是地形因子)的区域作用引起的(彭闪江等,2003)。对脆弱生境、过渡带生境的物种多样性研究具有重要意义(冶民生等,2004)。

不同基质环境下的物种多样性研究也是热点之一。干旱河谷、岩溶区及石灰岩等地区相关的物种多样性研究较为深入(冶民生等,2004;王代懿等,2005)。它们很大程度上受其所处的地理位置和长期地球物理化学循环的影响,是各种典型环境的代表,更是当前我国生态恢复重视的焦点。上述地区植物多样性的相对较低,对其物种多样性及其与地形地貌、土壤基质、水气循环等方面关系的研究,演替或恢复过程中物种多样性变化的研究有助于进一步深入了解物种多样性的起源及其地理格局的物理生物机制,同时能为生态恢复提供依据。

除了以上的环境因子,水、热、光照和温度等因子的作用也是相当重要的。很多情况下是多个因子的综合作用影响群落物种多样性动态,如沿着海拔梯度,不仅温度条件发生变化,同时也经常伴随着水分、光照条件的改变有规律性的变化。有研究(曹同等,

2000)发现:海拔高度、林内湿度、土壤酸度和含水量等可能是影响苔藓植物多样性的重要环境因子。

3 其它方向上的多样性研究

3.1 基于不同取样尺度上的物种多样性研究

物种多样性与空间尺度的关系是植物生态学的一个研究热点。取样面积大小和取样强度等对物种多样性具有相当明显的影响(何志斌等,2004; Kalkhan 等,2000)。探讨植物群落 α 多样性与取样尺度之间的内在联系及其变化规律,对于认识群落结构的复杂性和探讨多样性的尺度转换与尺度推绎,无疑具有重要意义。这些研究检验并评价了许多取样方法、测度方法的适用性,为多样性研究的多尺度发展及其与景观尺度的结合做出了一定的贡献(Kalkhan 等,2000)。

3.2 物种多样性与生态系统关系研究

生物多样性与生态系统之间的关系一直是人们关注,并颇具争议的论题。目前,在其功能关系,尤其是物种多样性与生态系统稳定性的关系上争议很大,到底是物种组成的多样性还是功能的多样性影响生态系统的稳定性,还是两者都有其作用?人们开展大量工作试图揭示多样性与生态系统功能的内在关系(倪健等,2002; Tilman 等,1994)。忽视物种多样性和稳定性的不同生物层次可能是造成观点纷争的根源之一(王国宏,2002)。因为物种多样性在不同尺度上对于全局稳定性起着更明显的影响(张云飞等,1997),生态位互补效应可能是高植物多样性群落具有高生产力的机制,而植物多样性对群落初级生产力稳定性的影响可能是通过不同功能群间的补偿作用来实现的(白永飞等,2001)。物种多样性的变化意味着生物功能特征的改变,从而也影响了生态系统的结构与功能。高的物种多样性使得能量流动、营养关系多途径化,也增加了抗干扰入侵的能力。但是,这些作用很大程度上是优势种与优势功能群表现出来的,我们对多样性与生态系统功能关系的研究有待于进一步深入。

4 植物群落物种多样性研究展望

生物多样性对生态系统过程有重要影响,生物多样性的丧失速率加快首先归因于人类的活动,例如砍伐森林和都市化发展,导致生境破坏,大量的生

态系统退化。改善这种状况的途径包含两个方面,即自然群落的保护和已被破坏了的生境的恢复。根据国内外研究趋势,物种多样性研究在以下几方面发展潜力很大:

(1)宏观方向:①物种多样性在多尺度、大范围上的发展。生境异质性使得某一区域的物种多样性规律不适用于其它地区;许多研究缺乏考虑多尺度上多样性的格局和过程,对异质性环境也考虑不足。计算机模拟技术和“3S”技术的发展使得物种多样性的研究与生态系统多样性、景观多样性,景观结构动态与物种多样性的联系更加密切,同时使物种多样性的研究在多尺度、大范围上得到发展。利用空间数据进行植被动态的研究,并且将卫星影像信息与野外实地调查相结合,将有可能从不同尺度确定植被多样性动态规律。②研究人类活动对森林物种多样性的影响。森林生产力与物种多样性之间的关系对于管理并开发我国森林资源意义重大;运用生态工程学的技术指导退化森林系统的恢复,研究多样性与受损森林生态系统恢复过程中一系列生物学过程之间的联系,给恢复生态学的发展提供了广阔的前景。③濒危生态系统(湿地等)物种多样性研究。目前,全世界对濒危生态系统湿地的保护越来越关注。湿地生境特殊,物种丰富,研究湿地物种多样性与湿地生态系统物理化学、生物过程及湿地物种生态适应过程与群落多样性、稳定性间的关系,对于指导物种生活史多样性及其多样性维持机制的研究有重要作用。同时,进行濒危生态系统物种多样性研究对物种多样性保护体系的完善具有重大的现实意义。④全球变化对物种多样性的影响及其对全球变化的响应。 CO_2 升高、气候变化在影响群落结构与功能的同时,也影响着物种多样性(Phillips 等,1997)。全球气候变化改变了生物所适应的生境,使其必须重新适应新的环境,这很大程度上增加现存物种灭绝的机率;但是,有的认为物种对环境的遗传适应能力对其在气候变化下灭绝影响很大,有的物种可能不会消失(Thomas 等,2004)。有研究发现(Phillips 等,2002),在全球气候变化的影响下,藤本植物更加繁盛。到底气候变化是怎样影响物种多样性的,是生物自身的适应能力还是气候变化的幅度更能决定最终物种未来的存亡,都是值得探讨的问题。同时,藤本植物在热带雨林中比例相当大,对森林演替、更新有重要作用,其多样性是雨林多样性的重要组成部分,藤本植物多样性与全球变化关系的

研究也是值得关注的。研究在人为干扰的片断雨林对藤本植物多样性的影响,对研究藤本植物多样性维持机理、气候变化与破碎化生境的影响及指导雨林的恢复有重要的作用。这种新型、大尺度的人类干扰下进行的物种多样性动态研究是一个较新的课题。

(2)微观方向:群落物种多样性从最初侧重研究较大的群落及其组成和结构,发展为研究更微小的群落(地衣,苔藓等);从研究物种多样性的结构特征向多样性的功能发展。目前,多样性在微观方向的发展包括:进化生态方面,物种多样性的起源及其地理格局的物理生物机制,特别是从遗传学的角度及包括进化生态学、分子生物学和生物系统学等方面研讨物种多样性的演化及维持机制。功能生态方面,植物功能多样性与功能群研究,植物群落的物种多样性及其可入侵性关系、功能多样性与生态系统资源动态关系、功能多样性与生态系统稳定性间的关系也将是研究的焦点。生理生态方面,森林群落物种多样性组成结构的生态适应、主要物种的生理生态适应,植被恢复过程中的多样性演替生理生态机理分析与建模等方面也具有很大发展潜力。

这两大方向的研究是相互渗透的,宏观与微观相结合的研究能更全面的体现多样性的变化规律,这也将更有利于多样性研究以及其它相关研究的快速发展。

参考文献:

- 李博. 2000. 生态学[M]. 北京:高等教育出版社,339—340.
- Bai YF(白永飞), Li LH(李凌浩), Huang JH(黄建辉), et al. 2001. The influence of plant diversity and functional composition on ecosystem stability of four *Stipa communities* in the Inner Mongolia Plateau(内蒙古高原针茅草原植物多样性与植物功能群组成对群落初级生产力稳定性的影响)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), 43(3):280—287.
- Bian Ba DJ(巴边多吉), Guo QS(郭泉水), Ci B(次柏), et al. 2004. Effects of gap in primitive subalpine fir forest on diversity of herb and shrub in Tibet(西藏冷杉原始林林隙对草本植物和灌木树种多样性的影响)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 15(2):191—194.
- Bossuyt B, Heyn M, Hermy M. 2002. Seed bank and vegetation composition of forest stands of varying age in central Belgium; consequences for regeneration of ancient forest vegetation[J]. *Plant Ecol*, 162:33—48.
- Cao T(曹同), Guo SL(郭水良). 2000. A study on bryophytes diversity in the main ecosystems in Changbai Mountain(长白山主要生态系统苔藓植物的多样性研究)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), 8(1):50—59.
- Chen GS(陈光升), Zhong ZC(钟章成). 2004. Relationship between species diversity and soil factors of evergreen broad-leaved forest in Junyun Mountain, Chongqing(重庆缙云山常绿阔叶林群落物种多样性与土壤因子的关系)[J]. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), 10(1):12—17.
- Currie D J. 1991. Energy and large-scale patterns of animal and plant-species richness[J]. *Am Nat*, 137:27—49.
- Guo ZG(郭正刚), Liu HX(刘慧霞), Sun XG(孙学刚), et al. 2003. Characteristics of species diversity of plant communities in the upper reaches of Bailong River(白龙江上游地区森林植物群落物种多样性的研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), 27(3):388—395.
- Guo ZG(郭正刚), Liu HX(刘慧霞), Wang GX(王根绪), et al. 2004. Effect of the Qinghai-Tibetan highway on the β diversity of grassland plant communities in the northern region of the Qinghai-Tibetan Plateau(人类工程对青藏高原北部草地群落 β 多样性的影响)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 24(2):384—388.
- Halpern C B, Spies T A. 1995. Plant species diversity in natural and managed forests of the Pacific Northwest[J]. *Ecol Appl*, 5:913—934.
- Hansen A J, Spies T A, Swanson F J, et al. 1991. Conserving biodiversity in managed forests[J]. *Bio Sci*, 41:382—392.
- He JS(贺金生), Chen WL(陈伟烈). 1997. A review of gradient changes in species diversity of land plant communities(陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 17(1):91—99.
- He ZB(何志斌), Zhao WZ(赵文智), Chang XX(常学向), et al. 2004. Scale dependence in desert plant biodiversity(荒漠植被植物多样性对空间尺度的依赖)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 24(6):1146—1149.
- Huang ZL(黄忠良), Kong GH(孔国辉), He DQ(何道泉). 2000. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve(鼎湖山植物群落多样性的研究)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 20(2):193—198.
- Jin ZX(金则新). 2002. On species diversity of secondary successional community of evergreen broad-leaved forests at Mount Tiantai of Zhejiang(浙江天台山常绿阔叶林次生演替序列群落物种多样性)[J]. *J Zhejiang For Coll*(浙江林学院学报), 19(2):133—137.
- Kalkhan M A, Stohlgren T J. 2000. Using multi-scale sampling and spatial cross-correlation to investigate patterns of plant species richness[J]. *Environ Monitoring Assessment*, 64:591—605.
- Leak W B, Smith M L. 1997. Long-term species and structural changes after cleaning young even-aged northern hardwoods in New Hampshire, USA[J]. *Fore Ecol Management*, 95:11—20.
- Lei B(雷波), Bao WK(包维楷), Jia Y(贾渝), et al. 2004. Ground bryophyte composition and synusia structures under young *Pinus tabulaeformis* along the upper Minjiang River(不同坡向人工油松幼林下地表苔藓植物层片的物种多样性与结构特征)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), 12(4):410—418.
- Li ZS(李宗善), Tang JW(唐建维), Zheng Z(郑征), et al. 2004. A study on plant diversity of tropical montane rain forest in Xishuangbana, Yunnan(西双版纳热带山地雨林的植物多样性研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), 28(6):833—843.

- Ma KP(马克平), Qian YQ(钱迎倩). 1998. Biodiversity conservation and its research progress(生物多样性保护及其研究进展)[J]. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), 4(1): 95—99.
- Nagaike T, Kamitani T, Nakashizuka T. 2003. Plant species diversity in abandoned coppice forests in a temperate deciduous forest area of central Japan[J]. *Plant Ecol*, 166: 145—156.
- Ni J(倪健), Ding SY(丁圣彦). 2002. Modeling the large-scale distribution of plant diversity; a possibility inferred from climate and productivity(模拟植物多样性的大尺度分布: 从气候和生产力推知的一种可能性)[J]. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), 26(5): 568—574.
- Pandey S K, Shukla R P. 2003. Plant diversity in managed sal (*Shorea robusta* Gaertn) forests of Gorakhpur, India; species composition, regeneration and conservation[J]. *Biodiversity and Conservation*, 12: 295—319.
- Peng SJ(彭闪江), Huang ZL(黄忠良), Xu GL(徐国良), et al. 2003. Effects of habitat heterogeneity on forest community diversity in Dinghushan Biosphere Reserve(生境异质性对鼎湖山植物群落多样性的影响)[J]. *Guihaia*(广西植物), 23(5): 391—398.
- Phillips O L, Sheil D. 1997. Forest turnover, diversity and CO₂ [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 12: 404.
- Phillips O L, Vásquez M R, Arroyo L, et al. 2002. Increasing dominance of large lianas in Amazonian forests[J]. *Nature*, 375: 770—774.
- Schwilk D W, Keeley J E, Bond W J. 1997. The intermediate disturbance hypothesis does not explain fire and diversity pattern in fynbos[J]. *Plant Ecol*, 132: 77—84.
- Sheil D. 2001. Long-term observations of rain forest succession, tree diversity and responses to disturbance[J]. *Plant Ecol*, 155: 183—199.
- Shen ZH(沈泽昊), Zhang XS(张新时), Jin YX(金义兴). 2000. Spatial pattern analysis and topographical interpretation of species diversity in the forests of Dalaoling in the region of the Three Gorges(三峡大老岭森林物种多样性的空间格局分析及其地形解释)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), 42(6): 620—627.
- Tabarelli M, Mantovani W. 2000. Gap-phase regeneration in a tropical montane forest; the effects of gap structure and bamboo species[J]. *Plant Ecol*, 148: 149—155.
- Tang ZY(唐志尧), Fang JY(方精云). 2004. A review on the elevational patterns of plant species diversity(植物物种多样性的垂直分布格局)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), 12(1): 20—28.
- Tao JP(陶建平), Zang RG(臧润国). 2004. Studies on the dynamics of seedling bank in gap of tropical montane rain forest in Bawangling, Hainan Island(海南霸王岭热带山地雨林林隙幼苗和幼树动态规律的研究)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), 40(3): 33—38.
- Thomas C D, Cameron A, Green R E, et al. 2004. Climate change and extinction risk[J]. *Nature*, 427: 145—148.
- Tilman D, Downing J A. 1994. Biodiversity and stability in grassland[J]. *Nature*, 367: 363—365.
- Wang CT(王长庭), Wang QJ(王启基), Long RJ(龙瑞军), et al. 2004. Changes in plant species diversity and productivity along an elevation gradient in an alpine meadow(高寒草甸群落植物多样性和初级生产力沿海拔梯度变化的研究)[J]. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), 28(2): 240—245.
- Wang DY(王代懿), Rong L(容丽), Mei ZM(梅再美), et al. 2005. Structure and species diversity of artificial vegetation in Rocky Desertification Areas(喀斯特石漠化生态治理区结构与物种多样性研究)[J]. *Bull Soil Water Conservation*(水土保持通报), 25(2): 31—35.
- Wang GH(王国宏). 2002. Further thoughts on diversity and stability in ecosystems(再论生物多样性与生态系统的稳定性)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), 10(1): 126—134.
- Wang W(王微), Tao JP(陶建平), Li ZF(李宗峰), et al. 2004. Gaps features of subalpine dark coniferous forest in Wolong Nature Reserve(卧龙自然保护区亚高山针叶林林隙特征研究)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 15(11): 1989—1993.
- Wu Y(吴勇), Su ZX(苏智先). 2001. Research process of species diversity in land plant community(陆地植物群落物种多样性演替研究进展)[J]. *Life Sci Res*(生命科学研究), 5(3): 125—128.
- Xu ZF(许再富), Zhu H(朱华), Wang YX(王应祥), et al. 2004. Species diversity dynamics of fragmented tropical rainforests in the lower-Lancang/upper-Mekong River Basin(澜沧江下游/湄公河上游片断热带雨林物种多样性动态)[J]. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), 28(5): 585—593.
- Yan YH(严岳鸿), Yi QF(易绮斐), Huang ZL(黄忠良), et al. 2004. The ecological response of fern diversity to vegetation succession in Gudoushan Nature Reserve, Guangdong(广东古兜山自然保护区蕨类植物多样性对植被不同演替阶段的生态响应)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), 12(3): 339—347.
- Yang WQ(杨万勤), Zhong ZC(钟章成), Tao JP(陶建平), et al. 2001. Study on relationship between soil enzymic activities and plant species diversity in forest ecosystem of Mt. Jinyun(缙云山森林土壤酶活性与植物多样性的关系)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), 37(4): 124—128.
- Ye MS(冶民生), Guan WB(关文彬), Tan H(谭辉), et al. 2004. The α diversity of shrubs community in the arid valley of the Minjiang River(岷江干旱河谷灌丛 α 多样性分析)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 24(6): 1123—1130.
- Yu SL(于顺利), Jiang GM(蒋高明). 2003. The research development of soil seed bank and several hot topics(土壤种子库的研究进展及若干研究热点)[J]. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), 27(4): 552—560.
- Zhang YF(张云飞), Wu YN(乌云娜), Yang C(杨持). 1997. The relationship between biodiversity and structure stability among grassland plant communities(草原植物群落物种多样性与结构稳定性之间的相关性分析)[J]. *Acta Sci Nat Univ Nei Mongol(Nat Sci)*(内蒙古大学学报(自然科学版)), 28(3): 419—423.
- Zhu B(朱彪), Chen AP(陈安平), Liu ZL(刘增力). 2004. Plant community composition and tree species diversity on Eastern and Western Nanling Mountains, China(南岭东西段植物群落物种组成及其树种多样性垂直格局的比较)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), 12(1): 53—62.