

薄壳山核桃林地昆虫物种多样性、功能多样性 及其相互关系分析

顾建强¹, 陈东辉¹, 徐奎源², 陈友吾³, 吴佳伟¹, 周靖¹, 徐志宏¹

(1. 浙江农林大学 农业与食品科学学院 浙江 临安 311300; 2. 浙江省建德市森林病虫害防治检疫站 浙江 建德 311600; 3. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 通过扫网法和踏查法, 调查了浙江省建德市薄壳山核桃 *Carya illinoensis* 林地昆虫多样性情况, 共采集昆虫 589 头, 鉴定至 11 目 160 种。基于 9 个生物学性状、4 个物种多样性指数和 7 个功能多样性指数, 研究了建德薄壳山核桃林地昆虫物种多样性和功能多样性 2 个维度的生物多样性, 探究了两者的相互关系。结果表明: ①同翅目 Homoptera, 半翅目 Hemiptera, 鞘翅目 Coleoptera, 鳞翅目 Lepidoptera 为优势目, 整个昆虫亚群落的物种多样性和功能多样性均为最大。②选取的功能指数能较好地反映各群落的功能多样性情况。③功能性状距离 (FAD), 功能性状平均距离 (MFAD), 功能树状图指数 (FD) 随物种丰富度的增加而增大, 属于物种丰富度单调递增指数 (MSR); 功能性状距离与功能性状平均距离是同一类指数。④功能多样性对害虫防治有指导意义。表 6 参 30

关键词: 昆虫生态学; 薄壳山核桃林; 物种多样性; 功能多样性

中图分类号: S763.3; X176

文献标志码: A

文章编号 2095-0756(2015)01-0116-07

Insect species diversity, functional diversity, and their mutual relationship in a pecan stand

GU Jianqiang¹, CHEN Donghui¹, XU Kuiyuan², CHEN Youwu³, WU Jiawei¹, ZHOU Jin¹, XU Zhihong¹

(1. School of Agricultural and Food Science, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang China; 2. Forest Pest Management and Quarantine Station of Jiande City, Jiande 311600, Zhejiang China; 3. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: To determine relation of functional diversity with species richness, we investigated insect diversity of a pecan stand in Jiande, the sweep sampling and the route survey method were applied. Then, based on nine biological traits including ecological characters, four indexes of species diversity (Richness, Shannon, Simpson and Evenness) and six indexes of functional diversity (Functional richness, Functional attribute diversity, Modified FAD, Functional dendrogram, Convex hull hyper-volume, Functional specialization) were obtained. Also, two dimensions of insect diversity (species diversity and functional diversity) and the relationship between both dimensions were studied using the MSR index. 589 insect specimens collected in the survey, which were identified 160 species belonging to 11 orders. Results of the analysis by DPS 14.10, FDiversion and Excel 2003 revealed that: 1) advantage of orders were Homoptera, Coleoptera, and Lepidoptera; and the greatest species diversity and functional diversity were in an insect sub-community. 2) Also, the selected functional traits easily distinguished the functional diversity among the community. 3) FAD, MFAD, and FD indexes increased with increasing species diversity. belonging to MSR index (Monotonically increasing with Species

收稿日期: 2014-03-07; 修回日期: 2014-05-27

基金项目: 浙江省公益技术研究农业项目(2012C32019); 浙江省林业厅林业科技推广项目(2012B10); 杭州市科技发展计划项目(20130432B99)

作者简介: 顾建强, 从事生态学研究。E-mail: 944015578@126.com。通信作者: 徐志宏, 教授, 博士, 从事农业昆虫与害虫防治等研究。E-mail: zhxh@zju.edu.cn

Richness), in this case community will be more stable and the pests in the pecan stand will easily be suppressed in low density. Also, FAD and MFAD were similar. Thus, functional diversity in the pecan stand could be used as guidance for pest control.[Ch, 6 tab. 30 ref.]

Key words: insect ecology; pecan (*Carya illinoensis*); species diversity; functional diversity

生物多样性指生命有机体及其赖以生存的生态综合体的多样化和变异性^[1]。生物多样性在基因、物种与生态系统层次上均有体现^[2]。一直以来,对生物多样性的研究大多集中在物种多样性层次^[3-4],事实上,物种多样性只代表一个维度的生物多样性,而其他维度的生物多样性,例如调控物种和生态系统过程的功能多样性^[5]、研究种间进化关系的谱系多样性以及研究种群内遗传变异的遗传多样性等,很少被研究^[6]。为了能够更好地理解生物多样性在不同组织层次上的变化,未来的研究应该包括生物多样性的多个维度^[7]。薄壳山核桃 *Carya illinoensis* 是中国引进的珍贵树种,具有较高的经济价值^[8]。浙江省是薄壳山核桃栽培的最适宜区,现有栽培面积已达 800 hm²。本研究通过对浙江省建德市薄壳山核桃林地昆虫多样性的调查,旨在解决以下问题:①调查薄壳山核桃林地昆虫物种多样性与功能多样性;②分析 2 个维度多样性的相互关系;③探究 2 个维度生物多样性对生态系统功能(biodiversity and ecosystem functioning, BEF)的影响^[9];④分析功能多样性对害虫防治的指导意义。

1 实验方法

1.1 调查时间和调查地点

2013 年 7 月,调查了浙江省建德市莲花镇洪村约 3.3 hm² 薄壳山核桃林地。林地内除了薄壳山核桃外,高大乔木仅有少量榔榆 *Ulmus parvifolia*,灌木多以 1 年生杂草为主,覆盖率低于 30%。

1.2 调查方法

选取 3 个代表性样地(为避免边缘效应影响,尽可能在林地内部取样),分别为定义为 1 号、2 号和 3 号样地,样地大小设置为 30 m × 30 m。采用踏查和扫网相结合的调查方法。踏查时,直接记录昆虫的种类和数量。样方中扫网时,在对角线上随机扫网 50 次,记录网捕种类和数量。昆虫经毒杀处理、标本制作、种类鉴定后保存于浙江农林大学农学院植保系昆虫标本室,用于分析研究。

1.3 分析方法

物种多样性采用物种丰富度(Richness 指数), Shannon 指数, Simpson 指数和均匀度(Evenness)来分析^[10]。功能多样性采用功能丰富度、功能性状距离(functional attribute diversity, FAD), 功能性状平均距离(modified FAD, MFAD), 功能树状图指数 (functional dendrogram, FD), 功能体积 (convex hull hyper-volume, ChhV), 功能特异化指数(functional specialization, FSpe)分析^[11-12]。

1.4 分析软件

利用 DPS 14.10, FDiversity 和 Excel 2003 软件分析。

2 实验结果与分析

2.1 昆虫物种多样性分析

调查共采集昆虫 589 头,全部做成标本,鉴别到 160 个种或属,包括蜉蝣目 Ephemeroptera, 蜚蠊目 Blattodea, 直翅目 Orthoptera, 同翅目 Homoptera, 半翅目 Hemiptera, 鞘翅目 Coleoptera, 双翅目 Diptera, 毛翅目 Trichoptera, 鳞翅目 Lepidoptera, 脉翅目 Neuroptera, 膜翅目 Hymenoptera 共 11 个目,其中,同翅目、半翅目、脉翅目、鞘翅目、鳞翅目为优势目(同翅目 17 种、半翅目 20 种、鞘翅目 41 种、鳞翅目 66 种,总数占整个昆虫亚群落的近 80%)。这可能是由于人为管理良好,薄壳山核桃林地内植被较为单一所致。4 个优势目以及整个昆虫亚群落的多样性指数见表 1。

由表 1 可知:整个昆虫亚群落的丰富度指数、Simpson 指数、Shannon 指数均为最大,这是因为整个昆虫群落包含的物种多样性更多。

2.2 昆虫功能多样性分析

选取 3 个与昆虫生活史特征有关的功能性状(化性、世代重叠情况、成虫历期), 2 个与行为特征相

表 1 各昆虫亚群落的多样性指数表

Table 1 Species diversity indices of each insect sub-community

亚群落	物种丰富度	Simpson 指数	Shannon 指数	均匀度指数
同翅目	17	0.93	2.26	0.94
半翅目	20	0.89	2.54	0.83
鞘翅目	41	0.91	2.93	0.79
鳞翅目	66	0.97	3.78	0.90
昆虫亚群落	160	0.98	4.50	0.89

关的功能性状(成虫飞行能力、爬行速度), 3 个与昆虫形态学相关的功能性状(身体保护情况、体长、触角长度)以及 1 个与生态学特征相关的功能性状(食性)^[13]进行功能多样性研究。9 个性状的 26 种性状类别列于表 2。

表 2 昆虫性状及其类别表

Table 2 Traits and categories for insect

功能性状	性状类别	分析运算代码
生活史		
化性	1 年发生至少 1 代(多化性)	Volt1
	1 年发生 1 代	Volt2
	多年发生 1 代	Volt3
世代重叠情况	世代重叠	Sync1
	世代不重叠	Sync2
成虫历期	很短(小于 1 周)	Life1
	一般(1 周到 1 个月)	Life2
	很长(>1 个月)	Life3
运动特征		
成虫飞行力	弱(单次飞行距离短于 1 m)	Flgt1
	强(单次飞行距离大于 1 m)	Flgt2
爬行速度	非常慢(<1 cm·min ⁻¹)	Craw1
	慢(1~10 cm·min ⁻¹)	Craw2
	快(>10 cm·min ⁻¹)	Craw3
形态学特征		
身体防护	无任何防护, 柔软的身体直接暴露	Armo1
	有角质化的前翅防护	Armo2
	有其他东西防护(如泥土、蛻皮、蜡质等)	Armo3
成虫体长	<9 mm	Body1
	9~16 mm	Body2
	>16 mm	Body3
触角长度	<5 mm	Tent1
	5~10 mm	Tent2
	<10 mm	Tent3
生态学特征		
食性	植食性	Trop1
	捕食性	Trop2
	腐食性	Trop3
	杂食性	Trop4

表 2 中, 成虫历期、成虫飞行力、爬行速度、身体防护、成虫体长、触角长度等 7 个功能性状以成虫为对象进行测定, 化性、世代重叠情况、食性等 3 个功能性状以整个昆虫生活史为对象进行测定。

通过现场观察、文献查找以及咨询相关专家, 将样地内捕得的所有昆虫按表 2 的内容进行分类^[14]。

由于同一属内的昆虫在功能上存在一定的相似性，因此，针对部分只能鉴别到属的昆虫，可以参考同属内类似昆虫的功能特性^[15]。各分类单元的功能多样性指数见表 3。

表 3 各昆虫亚群落功能多样性指数表

Table 3 Functional diversity indices of each insect sub-community

亚群落	功能丰富度	功能性状距离	功能性状平均距离	功能树状图指数	功能体积	功能特异化指数
同翅目	15	10.00	2.69	17.35		1.37
半翅目	17	15.00	3.95	24.55		1.43
鞘翅目	20	33.00	9.90	60.25	0.15	1.85
鳞翅目	12	18.00	4.99	26.01	0.12	1.22
昆虫亚群落	26	76.00	21.06	117.44	0.99	1.88

说明：功能体积指数在计算时要求物种数大于性状数^[15]，因此同翅目、半翅目无法通过计算得到功能体积指数。

表 3 中，功能丰富度为有物种占据的功能性状数量^[15]。通过比较，昆虫亚群落的功能丰富度指数、功能性状距离、功能性状平均距离、功能树状图指数、功能体积、功能特异化指数等指数均为最大，这是因为整个昆虫亚群落包含的功能多样性更多，这与物种多样性比较时得出的结果一致。鳞翅目昆虫虽然种数比鞘翅目多，但由于内部功能相近，各个多样性指数均小于鞘翅目。

对 4 个昆虫亚群落的 5 个功能多样性指数进行 Pearson 相关检验(去除功能体积)，结果见表 4。

表 4 功能多样性指数间相关关系

Table 4 Correlation between functional diversity indices

项目	功能丰富度	功能性状距离	功能性状平均距离	功能树状图指数	功能特异性指数
功能丰富度	1				
功能性状距离	0.907 2*	1			
功能性状平均距离	0.910 6*	0.998 8**	1		
功能树状图指数	0.930 3*	0.994 8**	0.998 1**	1	
功能特异性指数	0.924 8*	0.794 3	0.816 2	0.850 3	1

说明：**表示 $P<0.01$ ，* $P<0.05$ 。

由表 4 可以看出：功能丰富度与功能性状距离、功能性状平均距离、功能树状图指数、功能特异性指数指数在 0.05 水平下呈现显著正相关，功能性状距离与功能性状平均距离、功能树状图指数指数在 0.01 水平下呈现极显著正相关，功能性状平均距离与功能树状图指数在 0.01 水平下呈现极显著正相关。除功能特异性指数指数外，其余指数内部存在自相关。

2.3 昆虫物种多样性与功能多样性关系

物种多样性与功能多样性存在相关关系^[17-18]，对物种多样性和功能多样性进行 Pearson 相关检验，选取物种丰富度、Simpson 指数、Shannon 指数以及物种均匀度指数等 4 个生物多样性指数，与功能丰富度、功能性状距离、功能性状平均距离、功能树状图指数、功能特异化指数等 5 个功能多样性指数进行分析。结果见表 5。

表 5 物种多样性指数与功能多样性指数相关关系

Table 5 Correlation between functional diversity indices and species diversity indices

相关系数	功能丰富度	功能性状距离	功能性状平均距离	功能树状图指数	功能特异化指数
物种丰富度	0.712 5	0.936 9*	0.926 3*	0.901 1*	0.540 4
Simpson 指数	0.194 8	0.567 3	0.553 6	0.507 4	0.045 8
Shannon 指数	0.499 5	0.811 7	0.804 2	0.769 3	0.367 8
均匀度指数	-0.275 1	-0.074 9	-0.106 4	-0.146 9	-0.494 6

说明：**表示 $P<0.01$ ，* $P<0.05$ 。

2.4 各昆虫优势目功能多样性关系

功能多样性实际上是指昆虫在生态空间中占据位置的多样性^[5]。对 4 个昆虫优势目的功能多样性指

数进行 Pearson 相关检验(表 6)。结果表明:同翅目与半翅目在 0.01 水平下呈极显著相关,半翅目、鞘翅目以及鳞翅目在 0.05 水平下呈显著相关,鞘翅目与鳞翅目在 0.01 水平下呈极显著相关。

表 6 各昆虫优势目功能多样性间相关关系

Table 6 Correlation among functional diversity of four insect dominant orders

	同翅目	半翅目	鞘翅目	鳞翅目
同翅目	1			
半翅目	0.981**	1		
鞘翅目	0.832	0.921*	1	
鳞翅目	0.874	0.952*	0.986**	1

说明:**表示 $P<0.01$, * $P<0.05$ 。

昆虫的生存依赖于所处的生境条件,例如食物、水源、空间等^[19],而功能相近的昆虫往往具有相似的生态位,当这些昆虫处同一个生境时,就会存在生存竞争。可见,建德薄壳山核桃林地内部分优势目间存在生存竞争。

3 讨论

功能多样性是生物多样性的一个方面,能影响生态系统的功能和运行^[20],因而具有广阔的应用前景。在做功能多样性研究时,首先需要选取一定的功能性状^[21,23]。Mason 等^[24]认为:功能性状的选择应该遵循以下原则:①应该明确体现物种的功能范围;②该特征在群落中具有一定的覆盖比例;③不受测量单位和物种数的限制。本研究选取的 9 个功能性状均符合以上原则。此外,与张淑波等^[25]在做钱塘江中游水生昆虫功能多样性研究时选取的 11 个功能性状相比,减少了在性状统计上花费的时间。

在做功能多样性研究时,需要选取功能指数。近年来,国内外报道出来的功能多样性指数越来越多,科学的选用这些指数能够帮助我们更好地理解“生物多样性—环境—生态系统功能”的关系^[26]。本研究选取了功能丰富度、功能性状距离、功能性状平均距离、功能树状图指数、功能体积、功能特异化指数共 6 个功能多样性指数对薄壳山核桃林地功能多样性进行了研究。结果表明:功能性状距离、功能性状平均距离、功能树状图指数这 3 个功能多样性指数是物种丰富度单调递增指数 MSR^[27-28](monotonically increasing with species richness,这类指数的数值随着物种丰富度的增加而单调递增)。功能性状距离和功能性状平均距离在 0.01 水平上呈极显著关系,属于同一类指数,这与任一星等^[29]对北京山区典型森林群落功能多样性研究时得出的结果相一致,可以为功能多样性研究时指数的选取提供参考。

生物多样性对害虫防治具有重要的指导意义^[30],然而,大多数害虫防治方面的研究都选择以物种多样性为生物指标。事实上,功能多样性与物种多样性相比,更能与生产实际相联系^[26]。本研究探讨了薄壳山核桃内优势目昆虫的功能多样性情况,认为部分优势目昆虫间存在生存竞争关系。利用生存竞争进行害虫防治,不仅能有效控制害虫的发生及危害程度,还能保护天敌、减少农药使用。例如,调查发现半翅目内害虫对薄壳山核桃的危害相对较轻(大部分危害集中在林下杂草),而增加半翅目昆虫的功能多样性可以减少同翅目、鞘翅目和鳞翅目的昆虫,因此,选择使用对半翅目昆虫影响较小的农药(Bt 制剂等),既可以短期内减少其他昆虫的危害,又可以增加半翅目昆虫数量,从而达到以虫治虫的长期效果。

4 致谢

感谢美国佐治亚理工学院蒋林教授对论文提出宝贵修改意见。

5 参考文献

[1] 李慧蓉. 生物多样性和生态系统功能研究综述[J]. 生态学杂志, 2004, 23(3): 109 – 114.
LI Huirong. Review on study of biodiversity and ecosystem functioning [J]. Chin J Ecol, 2004, 23(3): 109 – 114.
[2] MASON N W H, MOUILLOT D, LEE W G. Functional evenness and functional diversity: the primary components of functional diversity [J]. Oikos, 2005, 111(1): 112 – 118.
[3] 张金屯, 范丽宏. 物种功能多样性及其研究方法[J]. 山地学报, 2011, 29(5): 513 – 519.

- ZHANG Jintun, FAN Lihong. Development of species functional diversity and its measurement methods [J]. *J Mount Sci*, 2011, **29**(5): 513 – 519.
- [4] 臧岳铭, 朱志红, 李英年, 等. 高寒矮嵩草草甸物种多样性与功能多样性对初级生产力的影响[J]. 生态学报, 2009, **28**(6): 999 – 1005.
- ZANG Yueming, ZHU Zhihong, LI Yingnian, *et al.* Effects of species diversity and functional diversity on primary productivity of alpine meadow [J]. *Chin J Ecol*, 2009, **28**(6): 999 – 1005.
- [5] 江小雷, 张卫国. 功能多样性及其研究方法[J]. 生态学报, 2010, **30**(10): 2766 – 2773.
- JIANG Xiaolei, ZHANG Weiguo. Functional diversity and its research method [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30**(10): 2766 – 2773.
- [6] 孙国钧, 张荣, 周立. 植物功能多样性与功能群研究进展[J]. 生态学报, 2003, **23**(7): 1430 – 1435.
- SUN Guojun, ZHANG Rong, ZHOU Li. Trends and advances in researches on plant functional diversity and functional groups [J]. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23**(7): 1430 – 1435.
- [7] MCGILL B J, ENQUIST B J, WEIHER E, *et al.* Rebuilding community ecology from functional traits [J]. *Trends Ecol Evol*, 2006, **21**(4): 178 – 185.
- [8] 彭方仁, 李永荣, 郝明灼, 等. 我国薄壳山核桃生产现状与产业化发展策略[J]. 林业科技开发, 2012, **26**(4): 1 – 4.
- PENG Fangren, LI Yongrong, HAO Mingzhuo, *et al.* Production present situation and the industrial development strategy of pecan economic forest in China [J]. *China For Sci Technol*, 2012, **26**(4): 1 – 4.
- [9] NAEEM S. Ecosystem consequences of biodiversity loss: the evolution of a paradigm [J]. *Ecology*, 2002, **83**(6): 1537 – 1552.
- [10] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1994, **2**(4): 231 – 239.
- MA Keping, LIU Yuming. Measurement of biotic community diversity [J]. *Chin Biodiversity*, 1994, **2**(4): 231 – 239.
- [11] CASANOVES F, PLAL, di RIENZO J A, *et al.* FDiversity: a software package for the integrated analysis of functional diversity [J]. *Method Ecol Evol*, 2011, **2**(3): 233 – 237.
- [12] WALKER B, KINZIG A, LANGRIDGE J. Original articles: plant attribute diversity, resilience, and ecosystem function: The nature and significance of dominant and minor species [J]. *Ecosystem*, 1999, **2**(2): 95 – 113.
- [13] TILMAN D. *Encyclopedia of Biodiversity* [M]. San Diego: Academic Press, 2001.
- [14] CORNELISSEN J H, LAVOREL S, GARNIER E. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide [J]. *Aust J Bot*, 2003, **51**(4): 335 – 380.
- [15] MASON N W H, MacGILLIVRAY K, STEEL J B, *et al.* An index of functional diversity [J]. *J Veg Sci*, 2003, **14**(4): 571 – 578.
- [16] LEROY POFF N, OLDEN J D, VIEIRA N K M, *et al.* Functional trait niches of North American lotic insects: traits-based ecological applications in light of phylogenetic relationships [J]. *North Am Benthol Soc*, 2006, **25**(4): 730 – 755.
- [17] HOLMES R T, BONNEY R E Jr, PACALA S W. Guild structure of the Hubbard Brook bird community: a multivariate approach [J]. *Ecology*, 1979, **60**(3): 512 – 520.
- [18] PETCHEY O L, GASYON K J. Function diversity (FD), species richness and community composition [J]. *Ecol Lett*, 2002, **5**(3): 402 – 411.
- [19] 张文辉, 祖元刚, 刘国彬. 10 种濒危植物的种群生态学特征及致危因素分析[J]. 生态学报, 2002, **22**(9): 1512 – 1520.
- ZHANG Wenhui, ZU Yuangang, LIU Guobin. Population ecological characteristics and analysis on endangered cause of ten endangered plant species [J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, **22**(9): 1512 – 1520.
- [20] TILMAN D, KNOPS J, WEDIN D, *et al.* The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes [J]. *Science*, 1997, **277**(5330): 1300 – 1302.
- [21] 郭玉永. 山西庞泉沟自然保护区典型森林群落功能多样性研究[J]. 山西林业科技, 2012, **41**(2): 16 – 18.
- GUO Yuyong. Research on functional diversity of typical forest communities in Pangquangou Natural Reserve in Shanxi [J]. *J Shanxi For Sci Technol*, 2012, **41**(2): 16 – 18.
- [22] SCHLEUTER D, DAUFRESNE M, MASSOL F, *et al.* A user's guide to functional diversity indices [J]. *Ecol Mono-*

- gr*, 2010, **80**(3): 469 – 484.
- [23] GOLLUSCIO R A, SALA O E. Plant functional types and ecological strategies in Patagonian forbs [J]. *J Veg Sci*, 1993, **4**(6): 839 – 846.
- [24] MASON N W H, MACGILLIVRAY K, STEEL J B, *et al*. An index of functional diversity [J]. *J Veg Sci*, 2003, **14**(4): 571 – 578.
- [25] 张澈波, 刘东晓, 刘朔孺, 等. 钱塘江中游水生昆虫群落功能多样性对土地利用变化的响应[J]. 应用生态学报, 2013, **24**(10): 2947 – 2954.
- ZHANG Lianbo, LIU Dongxiao, LIU Shuru, *et al*. Responses of functional diversity of aquatic insect community to land use change in middle reach of Qiantang River, East China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2013, **24**(10): 2947 – 2954.
- [26] 宋彦涛, 王平, 周道玮. 植物群落功能多样性计算方法[J]. 生态学杂志, 2011, **30**(9): 2053 – 2059.
- SONG Yantao, WANG Ping, ZHOU Daowei. Methods of measuring plant community functional diversity [J]. *Chin J Ecol*, 2011, **30**(9): 2053 – 2059.
- [27] PETCHEY O L, GASTON K J. Functional diversity (FD), species richness and community composition [J]. *Ecol Lett*, 2002, **5**(3): 402 – 411.
- [28] MOUCHET M A, VILLÉGER S, MASON N W H. Functional diversity measure: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules [J]. *Funct Ecol*, 2010, **24**(4): 867 – 876.
- [29] 任一星. 北京山区典型森林群落功能多样性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- REN Yixing. *Functional Diversity Research of Typical Forest Communities in Beijing Mountainous Area* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012.
- [30] 谷昭威, 曲爱军, 朱承美. 森林生物多样性与林木害虫的自然防治[J]. 生态学杂志, 1998, **17**(3): 59 – 62.
- GU Zhaowei, QU Aijun, ZHU Chengmei. Forest biodiversity and natural control of tree pests [J]. *Chin J Ecol*, 1998, **17**(3): 59 – 62.