

城市化对蝴蝶多样性的影响：以重庆市为例

晏 华^{1,2} 袁兴中^{1,2*} 刘文萍³ 邓合黎³

1 (重庆大学资源及环境科学学院, 重庆 400044)

2 (三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400044)

3 (重庆市自然博物馆, 重庆 400700)

摘要: 2005年5-10月, 自重庆市沙坪坝区到北碚区沿城市生境梯度选取了5个断面(沙坪公园、南溪口、回头坡、鸡公山和缙云山), 进行蝴蝶取样调查。共捕获蝴蝶4,802只, 隶属11科41属65种。统计分析表明, 东方菜粉蝶(*Pieris canidia*)、菜粉蝶(*P. rapae*)和酢浆灰蝶(*Pseudozizeeria maha*)等3种为优势种, 青凤蝶(*Graphium sarpedon*)、宽边黄粉蝶(*Eurema hecabe*)、连纹黛眼蝶(*Lethe syrcis*)、黄钩蛱蝶(*Polygonia c-aureum*)、点玄灰蝶(*Tongeia filicaudis*)和直纹稻弄蝶(*Parnara guttata*)等9种为常见种。多样性指数变化趋势为缙云山>回头坡>鸡公山>南溪口>沙坪公园。沿城市生境梯度, 从人为干扰较大的沙坪公园(城市化水平较高的代表)到人为干扰较小的缙云山(城市化水平较低的代表), 蝴蝶多样性指数基本呈递增趋势, 且植被种类丰富度越高、覆盖率越高、日照量越高的生境, 蝴蝶种类和数量越多, 蝴蝶多样性指数也越高。蝴蝶的多样性特征可以作为城市生境质量和环境变化的指标。

关键词: 城市化, 蝴蝶多样性, 生境梯度

Butterfly diversity along a gradient of urbanization: Chongqing as a case study

Hua Yan^{1,2}, Xingzhong Yuan^{1,2*}, Wenping Liu³, Heli Deng³

1 College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400044

2 Key Laboratory of the Three Gorges Region's Eco-Environment (Chongqing University), Ministry of Education, Chongqing 400044

3 Chongqing Nature Museum, Chongqing 400700

Abstract: To investigate the butterfly diversity in Chongqing Municipality, we selected five sampling sections along a gradient of urbanization from Shaping District to Beibei District, namely Shaping Park, Nanxikou, Huitoupo, Jigong Mountain, and Jinyun Mountain. A total of 4,802 butterfly individuals were collected, belonging to 11 families and 41 genera. Of these, the dominant species are *Pieris canidia*, *P. rapae*, and *Pseudozizeeria maha*, while common species are *Graphium sarpedon*, *Eurema hecabe*, *Lethe syrcis*, *Polygonia caureum*, *Tongeia filicaudis*, and *Parnara guttata*. The diversity indexes ranked in the following order: Jinyun Mountain>Huitoupo>Jigong Mountain>Nanxikou>Shaping Park. It is concluded that butterfly diversity, which is the highest in Jinyun Mountain and lowest in Shaping Park, increases with vegetation richness, vegetation coverage, and sunlight. Being significantly impacted by urbanization, butterfly diversity can serve as an effective indicator of urban environmental quality and change.

Key words: urbanization, butterfly diversity, habitat gradient

城市化是一个全球性的发展趋势, 这种趋势对生物多样性的影响已经引起人们的极大关注。城市化对生物多样性的影响主要有以下两个方面: (1)大

量的城市建筑使原有自然生境破碎化, 甚至消失; (2)城市污染和人为干扰严重影响了生物对栖息地的利用, 打破了生物与栖息地原有的协调关系。

收稿日期: 2006-02-22; 接受日期: 2006-04-12

基金项目: 国家自然科学基金(No.40301015)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xzyuan63@yahoo.com.cn

蝴蝶隶属昆虫纲鳞翅目, 因为蝴蝶对气候和光线非常敏感(Watt *et al.*, 1968; Ehrlich *et al.*, 1972; Weiss *et al.*, 1987, 1988), 很多研究者都认为蝴蝶很适合作为环境指示物(Pearce-Kelly, 1994; Scriber & Gage, 1995; New, 1997; Kremen, 1992; Kitching *et al.*, 2000)。同时, 由于蝴蝶幼虫取食植物的专一性, 它们的分布和数量都直接依赖于植物, 所以在高度开发的环境里, 蝴蝶多样性通常还可以替代植物多样性来反映环境质量(Ehrlich & Raven, 1964; Pyle, 1980; Gilbert, 1980, 1984; Brown, 1982; Murphy *et al.*, 1990; Kremen, 1992)。在国外, 从20世纪50年代开始, 就有人将蝴蝶作为环境指示物, 对其种类和数量进行了观察、记载。关于城市化对蝴蝶多样性的影响已有了一些研究(Blair & Launer, 1997; Mauro, 2003)。我国从20世纪90年代开始对蝴蝶多样性、群落结构和动态进行过研究(陈振宁和曾阳, 2001; 王敏等, 2003), 但是还未涉及城市化对蝴蝶多样性的影响。

本研究选取重庆市这一处在快速城市化进程中的城市, 以蝴蝶作环境指示物, 通过其多样性沿城市生境梯度的变化来研究城市化对生物多样性的影响。

1 研究区域和断面设置

研究区域位于重庆市主城区西部(106°21′~106°27′ E, 29°32′~29°52′ N)。本区处于中亚热带湿润季风气候区内, 具有夏热冬暖, 光热同季, 无霜期长, 雨量充沛, 湿润多阴等特点。年平均气温18.8℃, 年降雨量1082.9 mm。

本研究选取从沙坪坝区向北至北碚区这一样带, 包括沙坪公园、南溪口、回头坡、鸡公山、缙云山共5个采样断面(表1)。该样带由人为干扰最大的中心城市带的沙坪公园, 经过城郊农耕地带, 直到人为干扰较小的国家级自然保护区缙云山(缙云山也处在重庆市都市圈范围内), 代表了一个典型的城市生境梯度。

2 研究方法

2.1 采样方法

2005年5~10月在每个采样断面每个月采样1次, 采样断面一般在南北走向2 km距离内设6条(东西走向)100 m长度的样线, 样线间隔200 m。在晴天或阴天于10:00~12:00采样。一天完成一个采样断面调查, 2个人分别在不同样线来回走动进行采样(每人完成3条样线), 每条样线采样0.5 h。采用观察(熟悉而难捕捉的蝴蝶直接记录)和网捕法, 同时记录采集日期、时间、地点、海拔高度、生境、环境温度、湿度等。标本带回实验室鉴定。

2.2 数据分析

本研究根据蝴蝶群落的特点及取样数据, 选择使用了以下计算公式进行数据及结果的分析(Pielou, 1975; 马克平, 1994)。

Margalef种类丰度:

$$S_1 = (S-1)/\ln N$$
(1)

Shannon-Wiener指数:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$
(2)

表1 研究区域生境概况
Table 1 Habitat conditions of the study area

	沙坪公园 Shaping Park	南溪口 Nanxikou	回头坡 Huitoupo	鸡公山 Jigong Mountain	缙云山 Jinyun Mountain
纬度 Latitude (N)	29°33′	29°38′	29°42′	29°46′	29°50′
海拔 Elevation (m)	272~286	187~221	518~677	470~493	628~797
生境类型 Habitat type	人工园林 Artificial garden	农田 Cropland	森林、农田 Forest and Crop- land	农田 Cropland	森林 Forest
植被盖度 Vegetation coverage	70%	75%	90%	80%	95%
人流量 People flux (inds./h)	260	10	2	5	20
人为干扰 Human disturbance	很强 Strong	较弱 Weak	极弱 Extremely weak	很弱 Very weak	较弱 Weak

人为干扰按人流量为主要划分依据 Human disturbance was based on people flux

Pielou的均匀度指数:

$$J = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S \quad (3)$$

McNaughton种类优势度指数:

$$D = (N_1 + N_2) / N \quad (4)$$

Sørensen相似性系数:

$$S_2 = 2C / (A + B) \quad (5)$$

相对多度:

$$R_a = 100N_i / N \quad (6)$$

式中, S 为总种数, P_i 为种 i 的个体数占总个体数的比例, N 为所有种的个体总数, N_i 为种 i 的个体数, N_1 、 N_2 为样品中数量居第一、二位的优势种的个体数。 A 为A生境中的种类数, B 为B生境中的种类数, C 为两生境共有的种类数。利用SPSS统计软件, 以Sørensen相似性系数为基础, 进行群落聚类分析。

3 结果

3.1 种类组成

调查期间在研究区域内, 共获得蝴蝶4802只(表2), 隶属11科41属65种。其中, 沙坪公园蝴蝶种类和个体数都是最少的, 有6科12属15种, 优势种为东方菜粉蝶(*Pieris canidia*)(50.41%)、酢浆灰蝶(*Pseudaesha maha*)(24.07%)、菜粉蝶(*Pieris rapae*)(13.69%), 该断面没有独有的物种; 南溪口6科21属31种, 优势种为菜粉蝶(30.51%)、东方菜粉蝶(22.52%)、酢浆灰蝶(14.12%)、直纹稻弄蝶(*Parnara guttata*)(10.48%), 有3个种是该断面独有的物种; 回头坡7科23属34种, 优势种为东方菜粉蝶(35.54%)、酢浆灰蝶(17.07%), 有3个种是该断面独有的物种; 鸡公山6科17属25种, 优势种为菜粉蝶(32.07%)、东方菜粉蝶(17.15%)、柑橘凤蝶(*Papilio xuthus*)(12.83%), 有1个种是该点独有的物种; 缙云山蝴蝶物种数最多, 有10科33属53种, 优势种为直纹稻弄蝶(27.31%)、东方菜粉蝶(18.39%)、青凤蝶(*Graphium sarpedon*)(17.30%), 有18个种是该断面独有的物种。综合个体数和分布范围等指标, 东方菜粉蝶(24.95%)、菜粉蝶(19.89%)、酢浆灰蝶(11.75%)为研究区域的优势种和广布种。

3.2 多样性分析

由图1可以看出, 沙坪公园种类丰度、多样性指数及均匀度为最低, 而优势度却是最高。缙云山种类丰度、多样性指数位居5个断面的第一位, 优势

度是最低的。回头坡种类丰度、多样性指数、均匀度均高于南溪口, 优势度两个点相同。鸡公山种类丰度仅高于沙坪公园, 多样性指数低于缙云山、回头坡。5个断面的多样性指数大小依次为缙云山>回头坡>鸡公山>南溪口>沙坪公园(图1)。

3.3 相似性分析

以群落相似性系数(表3)为基础, 对研究区域蝴蝶群落进行聚类分析。由图2可知, 距离越近的生境, 其蝴蝶群落越相似。缙云山明显区别于其他断面单独为一组。南溪口和回头坡具有相同的物种数最多, 首先聚在一起, 然后再同鸡公山合为一组, 沙坪公园为另一组。沙坪公园人为干扰是最严重的, 因此同南溪口、回头坡、鸡公山有很明显的分界。

4 讨论

城市化对物种多样性的影响主要是因城市建筑设施及道路营建、地面硬化、城市植物栽培和人为景观营造等人类干扰带来的生境改变或破坏, 导致物种生存环境趋于单一化。本研究中城市化水平最高的沙坪公园蝴蝶种类丰度和多样性指数最低, 沿城市生境梯度, 种类丰度和多样性指数呈递增趋势。沙坪公园属于典型的人工园林生境, 虽然植被盖度(70%)并不低, 但生境异质性小, 且人流量大, 蝴蝶种类和数量最少(共15种482只)。南溪口和鸡公山的植被是农田人工栽培植被, 异质性小, 蝴蝶种类居中(25种和31种)。回头坡既有天然植被(但破碎化程度较高), 又有人工植被, 蝴蝶种类仅次于基本为山地常绿阔叶林的缙云山(34种)。缙云山城市化水平最低, 为典型的山地常绿阔叶林, 具有丰富的植物多样性和复杂的群落结构, 为蝴蝶生存繁衍提供了良好条件, 因而生存着最多的蝴蝶种类(53种)。这与其他研究者对城市化与蝴蝶多样性相互关系的调查结果相一致, 即城市开发程度越高, 蝴蝶多样性指数越低(Ruszczuk & Araujo, 1992; Blair, 1994; McGeoch & Chown, 1997)。

从聚类分析结果可以看出, 城市化水平最低的缙云山同其他断面相似性最低, 处于自然保护区的缙云山植被多样性和覆盖率都是最高的, 气候条件也明显优于其他断面, 因此物种数最多。南溪口和回头坡相似性系数最高, 是沿城市生境梯度上相邻的两个断面, 城市化水平比较接近。沙坪公园和缙

表2 沿城市生境梯度蝴蝶群落种类组成及数量(单位: 只)

Table 2 Species composition and quantity of butterfly community along a gradient of urbanization

物种 Species	沙坪公园 Shaping Park	南溪口 Nanxikou	回头坡 Huitoupo	鸡公山 Jigong Moun- tain	缙云山 Jinyun Moun- tain	相对多度(%) Relative abun- dance	数量等级 Numerical grade
凤蝶科 Papilionidae							
蓝凤蝶 <i>Papilio protenor</i>	0	1(0.09%)	0	0	16(1.74%)	0.35	+
玉带凤蝶 <i>P. polytes</i>	1(0.21%)	8(0.74%)	20(2.55%)	101(6.61%)	0	2.71	++
碧凤蝶 <i>P. bianor</i>	7(1.45%)	14(1.29%)	26(3.31%)	47(3.08%)	9(0.98%)	2.14	++
柑橘凤蝶 <i>P. xuthus</i>	0	18(1.65%)	6(0.76%)	196(12.83%)	6(0.65%)	4.71	++
金凤蝶 <i>P. machaon</i>	0	0	3(0.38%)	26(1.70%)	5(0.54%)	0.71	+
青凤蝶 <i>Graphium sarpedon</i>	1(0.21%)	10(0.92%)	24(3.06%)	95(6.22%)	159(17.30%)	6.02	++
碎斑青凤蝶 <i>G. chironides</i>	0	1(0.09%)	0	1(0.07%)	2(0.22%)	0.08	+
粉蝶科 Pieridae							
斑缘豆粉蝶 <i>Colias erate</i>	0	1(0.09%)	0	0	0	0.02	*
橙黄豆粉蝶 <i>C. fieldii</i>	0	9(0.82%)	0	2(0.13%)	2(0.22%)	0.27	+
宽边黄粉蝶 <i>Eurema hecabe</i>	2(0.41%)	54(4.96%)	63(8.03%)	41(2.68%)	4(0.44%)	3.42	++
菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i>	66(13.69%)	332(30.51%)	48(6.11%)	490(32.07%)	19(2.07%)	19.89	+++
黑纹粉蝶 <i>P. melete</i>	4(0.83%)	0	0	1(0.07%)	17(1.85%)	0.46	+
东方菜粉蝶 <i>P. canidia</i>	243(50.41%)	245(22.52%)	279(35.54%)	262(17.15%)	169(18.39%)	24.95	+++
暗脉菜粉蝶 <i>P. napi</i>	0	0	0	0	1(0.11%)	0.02	*
飞龙粉蝶 <i>Talbotia nagana</i>	0	0	0	0	6(0.65%)	0.12	+
斑蝶科 Danaidae							
大绢斑蝶 <i>Parantica sita</i>	0	0	0	0	2(0.22%)	0.04	*
环蝶科 Amathusiidae							
箭环蝶 <i>Stichophthalma howqua</i>	0	0	0	0	2(0.22%)	0.04	*
眼蝶科 Satyridae							
睇暮眼蝶 <i>Melanitis phedima</i>	0	0	7(0.89%)	0	1(0.11%)	0.17	+
曲纹黛眼蝶 <i>Lethe chandica</i>	0	0	8(1.02%)	0	2(0.22%)	0.21	+
白带黛眼蝶 <i>L. confusa</i>	0	0	7(0.89%)	0	13(1.41%)	0.42	+
连纹黛眼蝶 <i>L. syrcis</i>	0	3(0.28%)	20(2.55%)	2(0.13%)	23(2.50%)	1.00	++
黄斑荫眼蝶 <i>Neope pulaha</i>	0	0	0	0	2(0.22%)	0.04	*
蒙链荫眼蝶 <i>N. muirheadi</i>	0	6(0.55%)	7(0.89%)	0	18(0.96%)	0.65	+
小眉眼蝶 <i>Mycalasis mineus</i>	0	2(0.18%)	0	2(0.13%)	11(1.20%)	0.31	+
稻眉眼蝶 <i>M. gotama</i>	0	1(0.09%)	8(1.02%)	0	2(0.22%)	0.23	+
拟稻眉眼蝶 <i>M. francisca</i>	0	0	1(0.13%)	0	1(0.11%)	0.04	*
平顶眉眼蝶 <i>M. panthaka</i>	0	0	0	0	1(0.11%)	0.02	*
白斑眼蝶 <i>Penthema adelma</i>	0	0	0	0	1(0.11%)	0.02	*
矍眼蝶 <i>Ypthima balda</i>	0	12(1.10%)	6(0.76%)	6(0.39%)	6(0.65%)	0.62	+
东亚矍眼蝶 <i>Y. motschulskyi</i>	0	1(0.09%)	3(0.38%)	0	0	0.08	+
中华矍眼蝶 <i>Y. chinensis</i>	1(0.21%)	2(0.18%)	1(0.13%)	0	0	0.08	+
蛱蝶科 Nymphalidae							
黑脉蛱蝶 <i>Hestina assimilis</i>	0	0	0	0	1(0.11%)	0.02	*
斐豹蛱蝶 <i>Argyreus hyperbius</i>	0	2(0.18%)	12(1.53%)	0	15(1.63%)	0.60	+
残钹线蛱蝶 <i>Limnitis sulpitia</i>	2(0.42%)	0	0	5(0.33%)	11(1.20%)	0.37	+
小环蛱蝶 <i>Neptis sappho</i>	1(0.21%)	0	22(2.80%)	2(0.13%)	12(1.31%)	0.77	+
耶环蛱蝶 <i>N. yerburii</i>	0	0	0	1(0.07%)	0	0.02	*

表2 (续) Table 2 (continued)

物种 Species	沙坪公园 Shaping Park	南溪口 Nanxikou	回头坡 Huitoupo	鸡公山 Jigong Moun- tain	缙云山 Jinyun Moun- tain	相对多度(%) Relative abun- dance	数量等级 Numerical grade
中环蛱蝶 <i>N. hylas</i>	0	11(1.01%)	15(1.91%)	7(0.46%)	4(0.44%)	0.77	+
娑环蛱蝶 <i>N. soma</i>	0	0	0	0	7(0.76%)	0.15	+
幻紫斑蛱蝶 <i>Hypolimnys bolina</i>	0	0	0	0	1(0.11%)	0.02	*
大红蛱蝶 <i>Vanessa indica</i>	0	0	8(1.02%)	0	4(0.44%)	0.25	+
小红蛱蝶 <i>V. cardui</i>	0	3(0.28%)	1(0.13%)	0	3(0.33%)	0.15	+
黄钩蛱蝶 <i>Polygonia c-aureum</i>	6(1.24%)	43(3.95%)	5(0.64%)	9(0.59%)	20(2.18%)	1.73	++
美眼蛱蝶 <i>Junonia almana</i>	0	15(1.38%)	0	0	4(0.44%)	0.40	+
翠蓝眼蛱蝶 <i>J. orithya</i>	0	10(0.92%)	7(0.89%)	1(0.07%)	15(1.63%)	0.69	+
散纹盛蛱蝶 <i>Symbrenthia lilaee</i>	0	1(0.09%)	1(0.13%)	15(0.98%)	7(0.76%)	0.50	+
珍蝶科 Acraeidae							
苎麻珍蝶 <i>Acraea issoria</i>	0	0	1(0.13%)	0	0	0.02	*
喙蝶科 Libytheidae							
朴喙蝶 <i>Libythea celtis</i>	0	0	0	0	3(0.33%)	0.06	+
蛱蝶科 Riodinidae							
波蛱蝶 <i>Zemeros flegyas</i>	0	0	0	0	3(0.33%)	0.06	+
灰蝶科 Lycaenidae							
蛱灰蝶 <i>Taraka hamada</i>	0	0	3(0.38%)	0	4(0.44%)	0.15	+
生灰蝶 <i>Sinthus chandrana</i>	0	0	1(0.13%)	0	0	0.02	*
摩来彩灰蝶 <i>Heliophorus moorei</i>	0	5(0.46%)	0	0	0	0.10	+
酢浆灰蝶 <i>Pseudozizeeria maha</i>	116(24.07%)	154(14.12%)	134(17.07%)	131(8.57%)	29(3.16%)	11.75	+++
蓝灰蝶 <i>Everes argiades</i>	23(4.77%)	8(0.74%)	2(0.25%)	0	0	0.69	+
点玄灰蝶 <i>Tongeia flicaudis</i>	3(0.62%)	0	29(3.69%)	42(2.75%)	0	1.54	++
琉璃灰蝶 <i>Celastrina argiola</i>	0	0	1(0.13%)	0	0	0.02	*
弄蝶科 Hesperidae							
绿弄蝶 <i>Choaspes benjaminii</i>	0	0	0	0	6(0.65%)	0.12	+
曲纹袖弄蝶 <i>Notocrypta curvifascia</i>	0	0	0	0	2(0.22%)	0.04	*
独子酢弄蝶 <i>Halpe homolea</i>	0	0	0	0	11(1.20%)	0.23	+
刺脰弄蝶 <i>Baoris farri</i>	0	1(0.09%)	0	0	1(0.11%)	0.04	*
直纹稻弄蝶 <i>Parnara guttata</i>	6(1.24%)	114(10.48%)	6(0.76%)	42(2.75%)	251(27.31%)	8.73	++
么纹稻弄蝶 <i>P. bada</i>	0	0	0	0	2(0.22%)	0.04	*
中华谷弄蝶 <i>Pelopidas sinensis</i>	0	0	0	1(0.07%)	1(0.11%)	0.04	*
隐纹谷弄蝶 <i>P. mathias</i>	0	0	0	0	1(0.11%)	0.02	*
黄斑蕉弄蝶 <i>Erionota torax</i>	0	0	0	0	1(0.11%)	0.02	*
尖翅黄室弄蝶 <i>Potanthus palnia</i>	0	1(0.09%)	0	0	0	0.02	*
总物种数/个体数 Σ(Species number/number of individuals)	15/482	31/1,088	34/785	25/1,528	53/919	65/4,802	

+++ 优势种(个体数量>10%); ++ 常见种(个体数量1—10%); + 少见种(个体数量0.05—1%); *: 稀有种(个体数量<0.05%)
+++ dominant species(individual number>10%); ++ common species(individual number between 1% and 10%); + unusual species(individual number between 0.05% and 1%); *: rare species(individual number <0.05%)

表3 不同城市生境梯度蝴蝶群落的相似性系数
Table 3 The similarity coefficient of butterfly along a gradient of urbanization

	南溪口 Nanxikou	回头坡 Huitoupo	鸡公山 Jigong Mountain	缙云山 Jinyun Mountain
沙坪公园 Shaping Park	0.4348	0.5306	0.6500	0.3235
南溪口 Nanxikou		0.6769	0.6429	0.5714
回头坡 Huitoupo			0.6102	0.5977
鸡公山 Jigong Mountain				0.5641

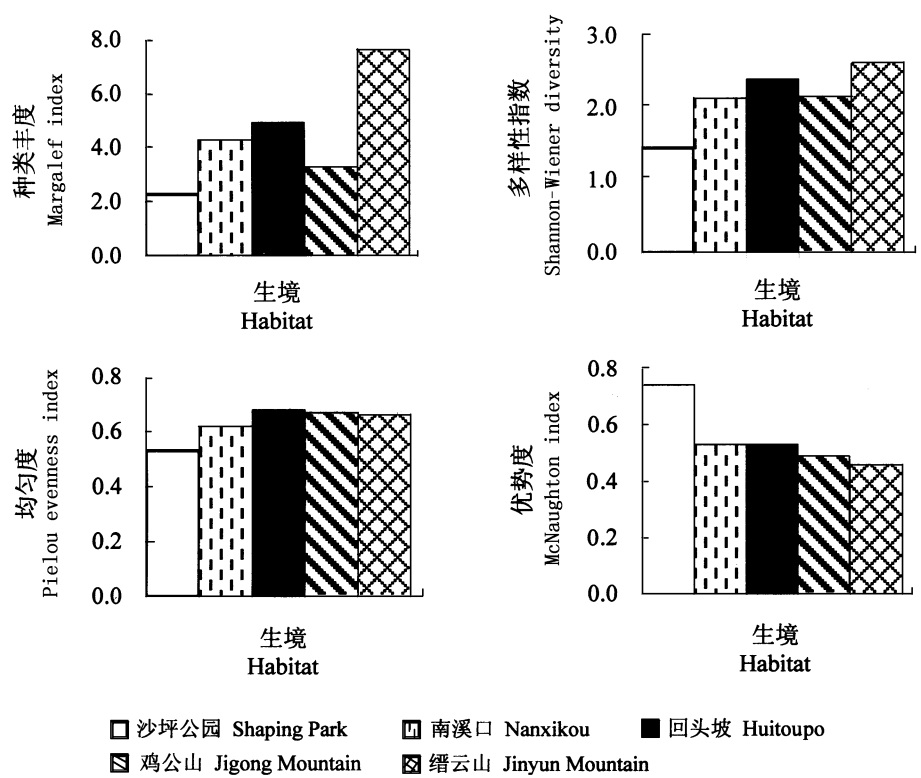


图1 沿城市生境梯度蝴蝶群落多样性指数变化
Fig. 1 Diversity indexes of butterfly community along a gradient of urbanization

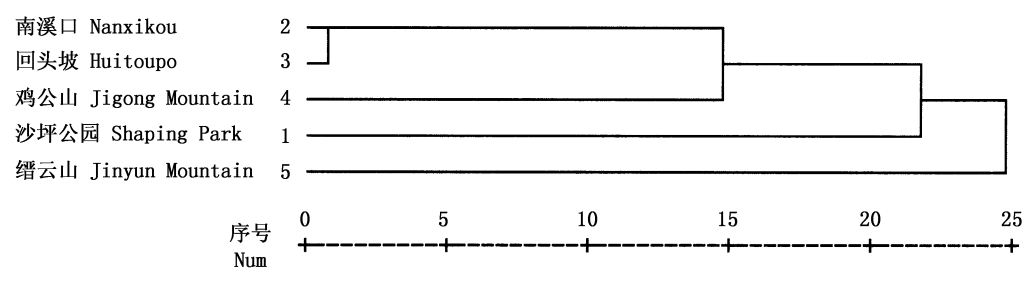


图2 沿城市生境梯度蝴蝶群落物种相似性聚类图
Fig.2 Dendrogram of butterfly communities along a gradient of urbanization based on similarity coefficients

云山相似性系数最低, 是城市化水平最高和最低的两个断面, 分别拥有最少和最多的物种, 多样性指数也是最低和最高, 充分反映了城市化对蝴蝶多样性的影响。

蝴蝶很适合作为环境变量的指示物(Pyle, 1980; Gilbert, 1980, 1984; Brown, 1982; Murphy *et al.*, 1990; Kremen, 1992), 本研究结果支持了这一观点。沿城市生境梯度, 蝴蝶种类组成也有很明显的变

化, 最显著的是城市化水平最高的沙坪公园的蝴蝶种类和数量明显较其他断面少,该断面的蝴蝶种类基本上在其他断面都有出现, 且该断面蝴蝶没有独有的物种。整体而言, 沿城市生境梯度, 蝴蝶总的种类丰度和多样性指数有很明显的梯度变化。

参考文献

Blair RB (1994) *Birds, Butterflies and Conservation on an Urban Gradient in Central California*. PhD dissertation,

- Stanford University, Stanford, CA.
- Blair RB, Launer AE (1997) Butterfly diversity and human land use: species assemblages along an urban gradient. *Biological Conservation*, **80**, 113–125.
- Brown KS (1982) Paleoecology and regional patterns of evolution in neotropical forest butterflies. In: *Biological Diversification in the Tropics* (ed. Prance GT), pp. 255–308. Columbia University Press, New York.
- Chen ZN (陈振宁), Zeng Y (曾阳) (2001) The butterfly diversity of different habitat types in Qilian, Qinghai Province. *Biodiversity Science*(生物多样性), **9**, 109–114. (in Chinese with English abstract)
- Ehrlich PR, Raven PH (1964) Butterflies and plants: a study in coevolution. *Evolution*, **8**, 586–608.
- Ehrlich PR, Breedlove DE, Brussard PF, Sharp MA (1972) Weather and the regulation of subalpine populations. *Evolution*, **53**, 243–247.
- Gilbert LE (1980) Food web organization and the conservation of neotropical diversity. In: *Conservation Biology: an Evolutionary-Ecological Perspective* (eds Soule ME, Wilcox BA), pp. 11–34. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Gilbert LE (1984) The biology of butterfly communities. In: *The Biology of Butterflies* (eds Vane-Wright RI, Ackery PR), pp. 41–54. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Kitching RL, Orr AG, Thalib L, Mitchell H, Hopkins MS, Graham AW (2000) Moth assemblages as indicators of environmental quality in remnants of upland Australian rain forest. *Journal of Applied Ecology*, **37**, 284–297.
- Kremen C (1992) Assessing the indicator properties of species assemblages for natural areas monitoring. *Ecological Applications*, **2**, 203–217.
- Ma KP (马克平) (1994) The measurement of community diversity. In: *Principles and Methodologies of Biodiversity Studies* (eds Qian YQ (钱迎倩), Ma KP (马克平)), pp. 141–165. Chinese Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese)
- Mauro DD (2003) *The Effect of Urbanization on Butterfly Species Diversity*. PhD dissertation, Department of Environmental Science and Public Policy, George Mason University, Washington.
- McGeoch MA, Chown SL (1997) Impact of urbanization on a gall-inhabiting Lepidoptera assemblage: the importance of reserves in urban areas. *Biodiversity and Conservation*, **6**, 979–993.
- Murphy DD, Freas KE, Weiss SB (1990) An environment-metapopulation approach to population viability analysis for a threatened invertebrate. *Conservation Biology*, **4**, 41–51.
- New TR (1997) *Butterfly Conservation*. Oxford University Press, Australia.
- Pearce-Kelly P (1994) Invertebrate propagation and re-establishment programmes: the conservation and education potential for zoos and related institutions. In: *Creative Conservation: Interactive Management of Wild and Captive Animals* (eds Olney PJS, Mace GM, Feistner ATC), pp. 329–337. Chapman & Hall, London.
- Pielou EC (1975) *Ecological Diversity*. John Wiley, New York
- Pyle RM (1980) Butterfly eco-geography and biological conservation in Washington. *Atala*, **8**, 1–26.
- Ruszczyk A, Araujo AM (1992) Gradients in butterfly species diversity in an urban area in Brazil. *Journal of the Lepidopterists Society*, **46**, 255–264.
- Scriber JM, Gage SH (1995) Pollution and global climate change: plant ecotones, butterfly hybrid zones and changes in biodiversity. In: *Swallowtail Butterflies: Their Ecology and Evolutionary Biology* (eds Scriber JM, Tsubaki Y, Lederhouse RC), pp. 319–344. Scientific Publishers, Gainesville FL.
- Wang M (王敏), Huang GH (黄国华), Fan XL (范晓凌), Xie GZ (谢国忠), Huang LS (黄林生), Dai KY (戴克元) (2003) Species diversity of butterflies in Shimentai Nature Reserve, Guangdong. *Biodiversity Science*(生物多样性), **11**, 441–453. (in Chinese with English abstract)
- Watt WB, Chew FS, Snyder LRG, Watt AG, Rothschild DE (1968) Population structure of pierid butterflies. I. Numbers and movements of some montane *Colias* species. *Oecologia Berlin*, **27**, 1–22.
- Weiss SB, White RR, Murphy DD, Ehrlich PR (1987) Growth and dispersal of larvae of the checkerspot butterfly *Euphydryas editha*. *Oikos*, **50**, 161–166.
- Weiss SB, Murphy DD, White RR (1988) Sun, slope and butterflies: topographic determinants of habitat quality for *Euphydryas editha*. *Ecology*, **69**, 1486–1496.

(责任编辑: 周红章 责任编辑: 闫文杰)