

长白山北坡不同海拔及干扰程度下 访花食蚜蝇群落的差异

杜秀娟^{1,2,3}, 任炳忠^{2,*}, 吴艳光², 宋丽文^{2,3}

(1. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040; 2. 东北师范大学生命科学学院, 长春 130024;

3. 吉林省林业科学研究院, 长春 130033)

摘要: 本研究采用垂直面取样法, 对中国长白山北坡不同海拔及干扰程度下访花食蚜蝇群落的物种组成、多度、丰富度及多样性进行了调查研究。我们选择了不同垂直带的两个样地, 分别位于 800 ~ 1 100 m 和 1 750 ~ 2 150 m; 每个样地选取 3 种生境类型, 每一生境类型采样面积为 20 m × 20 m。252 组调查数据表明, 共采到访花食蚜蝇 42 种 2 540 个体。不同海拔生境访花食蚜蝇的组成、多度、丰富度及多样性的差异分析结果表明: 低海拔样地内不同生境访花食蚜蝇的群落相似性高于高海拔样地; 低海拔样地访花食蚜蝇的多度高于高海拔样地, 而物种丰富度低于高海拔样地; 不同生境类型访花食蚜蝇多样性指数存在差异, 但高海拔样地与低海拔样地多样性差异不显著; 过渡林生境(岳桦林带)与次生林生境(针阔混交林带 II)中访花食蚜蝇的多样性较高。保护珍稀植物物种的人工植物园访花食蚜蝇多样性仅次于过渡林生境(岳桦林带)与次生林生境(针阔混交林带 II), 保护作用显著。

关键词: 双翅目; 食蚜蝇科; 访花食蚜蝇; 生境; 物种组成; 物种多样性; 垂直带; 长白山

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2009)05-0551-10

Differences of flower-visiting hoverfly (Diptera: Syrphidae) communities in habitats with various degrees of disturbance and altitude in Changbai Mountain, N. E. China

DU Xiu-Juan^{1,2,3}, REN Bing-Zhong^{2,*}, WU Yan-Guang², SONG Li-Wen^{2,3} (1. Northeast Forestry University, College of Forestry, Harbin, 150040, China; 2. Northeast Normal University, School of Life Sciences, Changchun, 130024, China; 3. Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun, 130033, China)

Abstract: In this paper, the species composition, richness, abundance and diversity of flower-visiting hoverfly (Diptera: Syrphidae) communities in habitats with various degrees of disturbance and altitudes in Changbai Mountain, N. E. China, were investigated using transect sampling method in two sample sites. One site located at a low elevation of 800 – 1 100 m, and the other located at a high elevation of 1 750 – 2 150 m. In each sample site, three types of habitats were selected, with an area of 20 m × 20 m for each transect (habitat). A total of 2 540 individuals of 42 Syrphidae species in 252 sets of data were collected. The differences in flower-visiting hoverfly composition, species richness, abundance and diversity in different habitat types and altitudes were analyzed. The results showed that the similarities among different habitats at the low site are higher than those of the high site. The flower-visiting hoverfly abundance at the low site is higher than that of the high site, while the species richness is lower than that at the high site. The diversity indexes of flower-visiting hoverfly are significantly different among different habitats, but diversity shows no significant differences between the low and high altitude sites. In different habitats, the highest diversity of flower-visiting hoverfly occurred in the transition forest habitat (*Betula ermanii* forest belt), as well as in the secondary forest habitats with slight disturbance (coniferous-deciduous mixed forest belt II). The diversity flower-visiting hoverfly in Botanical Garden for valuable plant species conservation is second only to that in the above two habitats, which indicates its remarkable effect on conservation.

基金项目: 吉林省科学技术厅资助项目(20040547-1)

作者简介: 杜秀娟, 女, 1979 年生, 山东省鄄城县人, 博士研究生, 主要从事昆虫化学生态、森林保护研究, E-mail: dudragonfly@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, Tel.: 0431-85098200; E-mail: bzren@163.com; bzren@sina.com

收稿日期 Received: 2008-06-23; 接受日期 Accepted: 2009-03-08

Key words: Diptera; Syrphidae; flower-visiting hoverfly; habitats; species composition; species diversity; transects; Changbai Mountain

食蚜蝇是双翅目中最具多样性一个科(Thompson and Rotheray, 1998; Katzourakis, 2001; Speight, 2003), 世界上已记载的食蚜蝇约 200 属 5 000 余种(Katzourakis, 2001)。我国已知约 90 属 400 余种, 据估计约有 600 种(薛万琦和赵建铭, 1996; 成新越, 2004)。食蚜蝇科的昆虫, 有些种类的幼虫为捕食性, 是蚜虫、蚧类等同翅目害虫的天敌(Chambers and Adams, 1986; Roy *et al.*, 1998; Hindayana *et al.*, 2001; 成新越, 2004); 有些种类的幼虫为植食性, 可以用来控制入侵植物, 如利用 *Cheilosia urbana* 和 *Cheilosia psilophthalma* 成功控制了入侵瑞士木兰属的 4 种危害植物(Grosskopf *et al.*, 2002)。因此, 食蚜蝇在害虫综合治理中有重要的利用价值。大多数食蚜蝇成虫访问花朵时取食花蜜和花粉, 花粉中的蛋白质在两性配子成熟过程中起重要作用(Gilbert, 1981)。生境中的花源和生物多样性决定食蚜蝇对花的有效利用程度(Sutherland, 2001)。

食蚜蝇可以作为古老林地、干扰生境及生境质量的指示者(Stubbs, 1982; Sommagio, 1999), 也可以用来评价生境的多样性与生态系统的功能(Reemer *et al.*, 2005)。它们在某种程度上可以代表同一生境其他生物的多样性。因此, 访花食蚜蝇可以用来评价开花植物及其共同生境。高山生境的生物组成、多样性及丰富度随着不同海拔高度森林生境变化存在差异(Keil and Konvicka, 2005), 访花食蚜蝇亦如此。长白山由于其较高的海拔、特殊的地理位置、独特的气候条件以及早期的火山喷发作用形成了 4 个明显的垂直植物带谱。该山区访花食蚜蝇多样性、物种丰富度、多度等群落特征可作为山区开花植物及共同生境特征的一个参考标准。近年, 随着长白山旅游业的发展, 长白山受到了不同程度的人为干扰。食蚜蝇可以代表生境的指纹特征, 而且访花食蚜蝇与植物紧密相关, 因此访花食蚜蝇群落的多样性、丰富度和多度等可作为植物物种和生境保护的一个参考标准。

目前, 仅有对长白山北坡一些访花昆虫种类、分布及访花天牛的区系研究(任炳忠等, 2003, 2006; 高文韬等, 2005; 杜秀娟等, 2006; 郝锡联等, 2006), 未见有关长白山北坡访花食蚜蝇群落特征参数的研究报道。因此, 开展长白山北坡不同垂直带及干扰生境下访花食蚜蝇群落的物种组成、丰富度、多度及多样性研究, 不仅可为评价长白山地区生物多样性、食蚜蝇及访花食蚜蝇其他研究提供一个标准, 而且

可为长白山地区食蚜蝇与珍稀植物资源的保护及开发利用提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 样地特点

长白山位于在吉林省的东部, 地理位置为 $41^{\circ}41' \sim 42^{\circ}25' \text{N}$, $127^{\circ}42' \sim 128^{\circ}16' \text{E}$, 面积为 $196\,465 \text{ km}^2$ 。长白山自然保护区于 1960 年成立, 1980 年被列为联合国教科文组织世界生物圈自然保护区。长白山既是同纬度最丰富的生物物种基因库和天然博物馆, 又是欧亚大陆北半部山地森林生态系统的典型代表。长白山植物由于受海拔及气候条件的影响, 从山下至山上形成十分明显的垂直植物带谱: 针阔混交林、针叶林、岳桦林和高山苔原 4 个植物垂直带。而其北坡的植物垂直带谱最为典型, 因此, 本研究在该坡进行。

本研究选择长白山北坡的低海拔样地(海拔 $800 \sim 1\,100 \text{ m}$)和高海拔样地(海拔 $1\,750 \sim 2\,150 \text{ m}$), 每个生境样地面积为 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 。低海拔样地包括人工植物花园、干扰次生林和次生林 3 种生境类型, 分别位于海拔 $800 \sim 1\,100 \text{ m}$ 的垂直带人工植物花园、针阔混交林带 I 和针阔混交林带 II 中。高海拔样地包括封闭林、过渡林及原始灌丛林 3 种生境类型, 分别位于海拔 $1\,100 \sim 2\,790 \text{ m}$ 的垂直带针叶林带、岳桦林带和苔原带中。海拔高度 $1\,100 \text{ m}$ 以下主要为针阔混交林带, 长白山大部分为这种林型。海拔 $1\,100 \sim 1\,800 \text{ m}$ 为针叶树种。海拔 $1\,800 \sim 2\,100 \text{ m}$ 为岳桦林树种。海拔 $2\,100 \text{ m}$ 以上为地面生长类型植物, 所有植物均不超过 1 m 。调查的 6 个生境简要叙述如表 1, 标本的鉴定参照祝廷成(2003)。

人工植物花园(Botanical Garden, BG): 人工植物花园的郁闭度为 5%, 海拔高度 800 m , 阳坡。本生境分布的植物大都为其他垂直带移植的种类。由于移植的植物种类有限, 物种多样性低。面积 $1.5 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$ 花圃中种植一种植物, 物种分布比较集中。

干扰次生林生境(Disturbed Secondary Forest, DF): 海拔高度为 $800 \sim 850 \text{ m}$, 阳坡。森林覆盖率大约 40%。植物物种较为丰富, 植物群落结构较复杂, 仅高等植物种类就达长白山植物总数的 70%。针叶树种随海拔高度增高而增加, 阔叶树种则随海拔高度增高而减少。此样地人为干扰较为严重, 为次生针阔

表 1 生境特征与植被
Table 1 The character and vegetation of different habitats

名称 Name	代码 Code	海拔 Altitude (m)	郁闭度 Cover (%)	坡向 Slope	植被 Vegetation			
					草本植物 Herbaceous plants		灌木 Shrubs	乔木 Trees
人工植 物花园 Botanical Garden	BG	800	5	S	落新妇 <i>Astilbe chinensis</i>	马兰 <i>Kalimeris indica</i>	绣线菊 <i>Spiraea</i> spp.	
					千屈菜 <i>Lythrum salicaria</i>	小飞蓬 <i>Comniza canadensis</i>	珍珠梅 <i>Sorbaria kirilowii</i>	
					北黄花菜 <i>Hemerocallis lilioasphodelus</i>	伪泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i>	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>	
					大苞萱草 <i>Hemerocallis middendorfii</i>	大蓟 <i>Herba Cirsii</i>	长白楸木 <i>Aralia continentalis</i>	
					球序韭 <i>Allium thunbergii</i>	山莴苣 <i>Lactuca indica</i>		
					大花卷丹 <i>Lilium leichtlinii</i>	东风菜 <i>Doellingeria scaber</i>		
					肥皂草 <i>Chamaemelum nobile</i>	兔儿伞 <i>Syneilesis aconitifolia</i>		
					柳兰 <i>Chamaenerion angustifolium</i>	长药景天 <i>Sedum spectabile</i>		
					长药八宝 <i>Hylotelephium spectabile</i>	白屈菜 <i>Chelidonium majus</i>		
					费菜 <i>Sedum aizoon</i>	仙鹤草 <i>Agrimonia pilosa</i>		
					长白老鹳草 <i>Geranium baishanens</i>	戟叶蓼 <i>Polygonum thunbergii</i>		
					旋复花 <i>Inula japonica</i>			
干扰次 生林 Disturbed secondary forest	DF	800 – 850	40	S	旋复花 <i>Inula japonica</i>	金银忍冬 <i>Lonicera maackii</i>	绣线菊 <i>Spiraea</i> spp.	红松 <i>Pinus koraiensis</i>
					小飞蓬 <i>Comniza canadensis</i>	轮叶婆婆纳 <i>Veronica spuria</i>	珍珠梅 <i>Sorbaria kirilowii</i>	白松 <i>Abies holophylla</i>
					返魂草 <i>Radix Asteris</i>	蚊子草 <i>Filipendula palmata</i>	辽东丁香 <i>Syringa wolfii</i>	长白落叶松 <i>Larix olgensis</i>
					蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	多茎野豌豆 <i>Vicia ulticaulis</i>	鸡树条荚蒾 <i>Viburnum sargentii</i>	蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>
					北黄花菜 <i>Hemerocallis lilioasphodelus</i>	千屈菜 <i>Lythrum salicaria</i>	长白楸木 <i>Aralia continentalis</i>	水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>
					深山唐松草 <i>Thalictrum tuberiferum</i>	毛茛 <i>Ranunculus</i> spp.		黄檗 <i>Phellodendron amurense</i>
					缬草 <i>Valeriana offeinalis</i>	大花剪秋箩 <i>Lychnis fulgens</i>		紫椴 <i>Tilia amurensis</i>
					白屈菜 <i>Chelidonium majus</i>	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>		
次生林 Secondary forest	SF	1 050 – 1 100	60	HS	北黄花菜 <i>Hemerocallis lilioasphodelus</i>	山苦菜 <i>Sonchus arvensis</i>	绣线菊 <i>Spiraea</i> spp.	红松 <i>Pinus koraiensis</i>
					大苞萱草 <i>Hemerocallis middendorfii</i>	毛茛 <i>Ranunculus</i> spp.	珍珠梅 <i>Sorbaria kirilowii</i>	白松 <i>Abies holophylla</i>
					大花卷丹 <i>Lilium leichtlinii</i>	茴茴蒜 <i>Ranunculus chinensis</i>	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>	臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>
					深山唐松草 <i>Thalictrum tuberiferum</i>	大花剪秋箩 <i>Lychnis fulgens</i>	辽东丁香 <i>Syringa wolfii</i>	长白落叶松 <i>Larix olgensis</i>
					长瓣金莲花 <i>Trollius macropetalus</i>	头石竹 <i>Dianthus barbatus</i>	鸡树条荚蒾 <i>Viburnum sargentii</i>	赤柏松 <i>Taxus cuspidata</i>
					肥皂草 <i>Chamaemelum nobile</i>	细叶毒芹 <i>Cicuat virosa</i>	长白楸木 <i>Aralia continentalis</i>	香柏松 <i>Thuja koraiensis</i>
					长药景天 <i>Sedum spectabile</i>	小叶芹 <i>Aegopodium alpestre</i>		蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>
					长药八宝 <i>Hylotelephium spectabile</i>	缬草 <i>Valeriana offeinalis</i>		水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>
					柳兰 <i>Chamaenerion angustifolium</i>	费菜 <i>Sedum aizoon</i>		黄檗 <i>Phellodendron amurense</i>
					老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>	白屈菜 <i>Chelidonium majus</i>		
					毛蕊老鹳草 <i>Geranium eriostemon</i>	金银忍冬 <i>Lonicera maackii</i>		

续表 1 Table 1 continued

名称 Name	代码 Code	海拔 Altitude (m)	郁闭度 Cover (%)	坡向 Slope	植被 Vegetation		
					草本植物 Herbaceous plants	灌木 Shrubs	乔木 Trees
封闭林 Closed forest	CF	1 750 – 1 800	82 – 84	S	旋复花 <i>Inula japonica</i>	轮叶婆婆纳 <i>Veronica spuria</i>	
					马兰 <i>Kalimeris indica</i>	蚊子草 <i>Filipendula palmata</i>	
					小飞蓬 <i>Comniza canadensis</i>	多茎野豌豆 <i>Vicia ulticaulis</i>	
					山莴苣 <i>Lactuca indica</i>	落新妇 <i>Astilbe chinensis</i>	
					返魂草 <i>Radix Asteris</i>	千屈菜 <i>Lythrum salicaria</i>	
					蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>		
					七筋姑 <i>Clintonia udensis</i>	卵叶山芍药 <i>Paeonia japonica</i>	长白瑞香 <i>Daphne koreanum</i>
					狭叶藜芦 <i>Veratrum stenophyllum</i>	木贼 <i>Equisetum hyemale</i>	越桔 <i>Vaccinium uliginosum</i>
					圆叶鹿蹄草 <i>Pyrola rotundifolia</i>	长白金莲花 <i>Trollius chinensis</i>	长白瑞香 <i>Daphne koreanum</i>
					草乌头 <i>Aconitum kusnezoffii</i>	梅花草 <i>Parnassia palustris</i>	蓝靛果忍冬 <i>Lonicera caerulea</i>
过渡林 Transition forest	TF	1 900 – 1 950	> 30	HS	毛蕊老鹳草 <i>Geranium eriostemon</i>	单穗升麻 <i>Cimicifuga simplex</i>	鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i>
					星叶兔儿伞 <i>Cacalia komaroviana</i>	类叶升麻 <i>Actaea asiatica</i>	长白落叶松 <i>Larix olgensis</i>
					金莲花 <i>Trollius chinensis Bunge</i>		
					舞长白耬斗菜 <i>Aquilega japonica</i>	鹤草 <i>Maianthemum bifolium</i>	牛皮杜鹃 <i>Rhododendron aureum</i>
					聚花风铃草 <i>Campanula glomeraea</i>	长白红景天 <i>Rhodiola angusta</i>	岳桦 <i>Betula ermanii</i>
					长白高山芹 <i>Coelopleurum nakaianum</i>	七七草 <i>Trientalis europaea</i>	毛毡杜鹃 <i>Rhododendron confertissimum</i>
					长白凤毛菊 <i>Saussurea tenerifolia</i>	苞叶杜鹃 <i>Rhododendron redowskianum</i>	
					长白岩黄耆 <i>Hedysarum ussuriensis</i>	越桔 <i>Vaccinium uliginosum</i>	
						松毛翠 <i>Rhyllodoce caerulea</i>	
原始灌 丛林 Original shrub forest	OF	2 100 – 2150	≈0	S	聚花风铃草 <i>Campanula glomeraea</i>	舞鹤草 <i>Maianthemum bifolium</i>	牛皮杜鹃 <i>Rhododendron aureum</i>
					小白花地榆 <i>Sanguisorba parviflora</i>	高山罂粟 <i>Papaver alpinum</i>	毛毡杜鹃 <i>Rhododendron confertissimum</i>
					大白花地榆 <i>Sanguisorba stipulata</i>	长白耬斗菜 <i>Aquilega japonica</i>	苞叶杜鹃 <i>Rhododendron redowskianum</i>
					长白岩黄耆 <i>Hedysarum ussuriensis</i>		越桔 <i>Vaccinium uliginosum</i>
					长白凤毛菊 <i>Saussurea tenerifolia</i>		松毛翠 <i>Rhyllodoce caerulea</i>
							宽叶仙女木 <i>Dryas octopetala</i>

S: 阳坡 Sunny slope; HS: 半阳坡 Half sunny slope.

混交林带。本林带乔木以红松 *Pinus koraiensis* 为主。其它针叶树种为白松 *Abies holophylla* 和长白落叶松 *Larix olgensis* 等。

次生林生境 (Secondary Forest, SF): 森林覆盖率大约 60%, 半阳坡。海拔高度 1 050 ~ 1 100 m。植物物种丰富, 群落结构复杂。本生境与生境 DF 相近, 仅植物物种组成存在差异。

封闭林生境 (Closed Forest, CF): 海拔高度

1 750 ~ 1 800 m, 阳坡, 郁闭度最大为 82% ~ 84%。此生境以鱼鳞云杉 *Picea jezoensis* 为主, 其次为红松 *Pinus koraiensis*、长白松 *Pinus sylvestrisformis*、长白落叶松 *Larix olgensis* 和臭冷杉 *Abies nephrolepis* 等。林内阴湿程度增大, 林下植物种类由红松阔叶混交林下典型植物而趋向于针叶林下植物种。林下灌木一般稀疏呈团块状分布, 并伴随分布草本植物。

过渡林生境 (Transition Forest, TF): 森林覆盖率

低于 30%。海拔高度 1 900 ~ 1 950 m 并且为半阳坡。该生境是针叶林和山地苔原之间的过渡带,是山地苔原和森林成分的特殊结合。岳桦林林木稀疏,矮曲成丛生状态,矮曲和稀疏程度随海拔增高而增大,在上部呈匍匐状生长,根系发达,能适应高山严寒的气候,瘠薄的土壤和强风的吹袭。树种单一,主要为岳桦 *Betula ermanii*。林下灌木稀少,以牛皮杜鹃为主,其次为毛毡杜鹃、笃斯越桔和松毛翠。草本植物种类极其丰富,总盖度在 90% 以上。本带不具有特有指示植物物种,大部分为相邻植被的共有种。

原始灌丛林生境 (Original Shrub Forest, OF): 海拔高度在 2 100 ~ 2 150 m,阳坡。森林覆盖率最低,几乎为零。本生境位于火山锥体的中、上部,以灌木和草本植物为主。气候属于高山带气候类型:严酷;湿度很大,几乎天天降雨;风力最强,风日多。植物分布由下而上逐渐稀疏,种类逐渐减少,主要为旱生形态的湿冷植物。高大的乔木已经绝迹,仅有低矮的草状灌木丛、草本植物、地衣和苔藓等,形成了广阔的地毯式苔原植被,构成特殊的景观类型。

1.2 采样方法

访花食蚜蝇指频繁活动于木本和草本类显花植物上的食蚜蝇。2005 至 2007 年的 6 - 9 月,每次采样 6 d,每年采样 42 d,3 年共计 126 d;每次采样每个生境设置 2 个重复,6 个生境采样 84 次,3 年共计收集数据 252 组。每 1 个大样地每组数据为 3 个生境数据总和,每 1 个生境每次采样设 2 个重复。每 1 个大样地 3 年数据为 42 组,2 个大样地共计 84 组数据。

调查期间的温度为 10.8 ~ 38.8℃。调查采用 Pollard 等(1975)和 Pollard (1977)使用的方法。调查者在 20 m × 20 m × 10 m 的范围内以一定速度随机行走,看到有食蚜蝇访问花就将其捕捉,并记录下

访问植物的名称。每个垂直带生境内采样时间在 50 ~ 60 min,行走路程在 600 m 范围内。每个生境每天采样 2 次,分别在当地时间的上午 8:30 - 11:00 和下午的 2:00 - 4:30。

1.3 数据分析方法

(1)相对丰富度:

$$P_i = N_i / N$$

式中, N_i 为第 i 物种个体数, N 为群落总个体数。

(2)群落相似性分析:根据 Jaccard 相似性系数原理:当 q 值为 0.00 ~ 0.25 时,群落为极不相似;当 q 值为 0.25 ~ 0.50 时,群落为中等不相似;当 q 值为 0.50 ~ 0.75 时,群落为中等相似;当 q 值为 0.75 ~ 1.00,群落为极相似。Jaccard 相似性系数公式如下:

$$q = c / (a + b - c)$$

式中, c 为两个群落共有物种数, a 和 b 分别为群落 A 和群落 B 物种数。

(3)群落多样性分析:采用 Shannon-Wiener 多样性指数

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

(4) t 检验衡量任意两个生境样地访花食蚜蝇群落参数差异程度。

采用 SPSS13.0 统计软件中独立样本 T 检验 (Independent-Samples T test) 进行 t 检验。

2 结果

2.1 物种组成

共采集到访花食蚜蝇 2 540 头,隶属于 42 种,21 属(表 2)。

表 2 长白山北坡访花食蚜蝇种类及多度在不同生境的分布

Table 2 Distribution, species and abundance of flower-visiting hoverflies among different habitats of North Slope of Changbai Mountain

物种 Species	低海拔样地 Low site (800 - 1 100 m a. s. l.)			高海拔样地 High site (1 750 - 2 150 m a. s. l.)		
	BG	DF	SF	CF	TF	OF
烟翅黑蚜蝇 <i>Cheilosia nebulosa</i> (Verrall)					+++	
杂毛黑蚜蝇 <i>Cheilosia illustrate</i> (Harris)					++	
棕跗黑蚜蝇 <i>Cheilosia kunashirica</i> (Violovitsh)					+	
双线毛食蚜蝇 <i>Dasysyrphus bilineatus</i> (Matsumura)					+	
暗突毛食蚜蝇 <i>Dasysyrphus venustus</i> (Meigen)					+	
灰带垂边食蚜蝇 <i>Epistrophe griseofasciata</i> (Matsumura)					+	
条颜垂边食蚜蝇 <i>Epistrophe nigroepistomata</i> Shirake et Edashige			+			

续表 2 Table 2 continued

物种 Species	低海拔样地 Low site (800 – 1 100 m a. s. l.)			高海拔样地 High site (1 750 – 2 150 m a. s. l)		
	BG	DF	SF	CF	TF	OF
离缘垂边食蚜蝇 <i>Epistrophe grossulariae</i> (Meigen)		+	+			
黑带食蚜蝇 <i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer)	++	+++	+++	+	+	+
暗边密毛食蚜蝇 <i>Eriozona nigroscutellata</i> Schiraki					+	
长尾管蚜蝇 <i>Eristalis tenax</i> (Linnaeus)	+++	+++	+++	+++	+++	++
短腹管蚜蝇 <i>Eristalis arbustorum</i> (Linnaeus)			+			
灰带管蚜蝇 <i>Eristalis cerealis</i> Fabricius		+	++			
喜马拉雅管蚜蝇 <i>Eristalis himalayensis</i> Brunetti	+	+	++			
拉优食蚜蝇 <i>Eupeodes lapponicus</i> (Zettertedt)					+	
线条管蚜蝇 <i>Helophilus lineatus</i> (Fabricius)			+			
狭带条胸食蚜蝇 <i>Helophilus virgatus</i> (Coquillett)			+			
黄盾壮食蚜蝇 <i>Ischrysyrphus glaucius</i> (Linnaeus)					++	+
黑盾壮食蚜蝇 <i>Ischyosyrphus laternarius</i> (Muller)					++	+++
黄颊美蓝食蚜蝇 <i>Melangyna labiatarum</i> (Verrall)						+
暗颊美蓝食蚜蝇 <i>Melangyna lasiophthalma</i> (Zetterstedt)						+
烟翅黑蚜蝇 <i>Cheilosia nebulosa</i> (Verrall)					+++	
菊美蓝食蚜蝇 <i>Melangyna compositarum</i> (Verrall)					+	
东方墨蚜蝇 <i>Melanostoma orientale</i> (Wiedemann)						+
黄带狭腹食蚜蝇 <i>Meliscaeva cinctella</i> (Zetterstedt)				+	+++	+
黑角拟食蚜蝇 <i>Parasyrphus kirgizorum</i> (Peck)	+	+			+	
黄颜食蚜蝇 <i>Syrphus ribesii</i> (Linnaeus)		++	+++	+	+	++
野食蚜蝇 <i>Syrphus torvus</i> Osten sacken	+	+	++	+	+++	+++
黑足食蚜蝇 <i>Syrphus vitripennis</i> Meigen				++	+	
大斑鼓额食蚜蝇 <i>Scaeva albomaculata</i> (Macquart)	+	+	+			
斜斑鼓额食蚜蝇 <i>Scaeva pyrastris</i> (Linnaeus)					+	
月斑鼓额食蚜蝇 <i>Scaeva selenitica</i> (Meigen)						+
印度细腹食蚜蝇 <i>Sphaerophoria Indiana</i> Bigot			+			
叉叶细腹食蚜蝇 <i>Sphaerophoria taeniata</i> (Meigen)				+		
褐翅斑胸食蚜蝇 <i>Spilomyia maxima</i> Sack			+			
东方粗股食蚜蝇 <i>Syritta orientalis</i> Macquart	+					
黄环粗股食蚜蝇 <i>Syritta pipiens</i> (Linnaeus)	+++	+++	+++			+
胡拟木食蚜蝇 <i>Temnostoma vespiforme</i> (Linnaeus)		+	+	+	+	
拟蜂蚜蝇 <i>Temnostoma bombylans</i> (Fabricius)			+			
黄盾蜂蚜蝇 <i>Volucella pellucens tabanoides</i> Motschulsk	+	+	+	+	+	
短腹蜂蚜蝇 <i>Volucella jeddona</i> Bigot	+		+	+		
黑带蜂蚜蝇 <i>Volucella zonaria</i> Poda	+					
圆斑宽扁食蚜蝇 <i>Xanthandrus comtus</i> (Harris)					+	
种类数量(优势种类数量) Species number (dominant species number)	11(2)	12(3)	19(4)	10(1)	22(4)	12(2)

+: 稀有物种, 个体数占总个体数的 0 ~ 5% ; ++: 常见物种, 个体数占总个体数的 5% ~ 10% ; +++: 优势物种, 某一生境个体数至少占总物种数的 10% , 或者某生境中的 42 次采样中, 某次采样个体数高于 12, 或者某一生境中某次采样的个体数占该生境总个体的 0.3% 以上。+: Occurrence species: individuals recorded amount to 0 – 5% of the total number of individuals; ++: Common species: individuals recorded amount to 5% – 10% of the total number of individuals. +++: Dominant species: individuals recorded in the habitat amount to at least 10% of the total number of individuals for the particular species recorded in all habitats, or the total number of individuals for the species recorded during the total 42 times of survey for each transect was more than 12 individuals, or more than 0.3% individuals for one time of survey for each habitat. BG: 人工植物花园 Botanical Garden; DF: 干扰次生林生境 Disturbed secondary forest; SF: 次生林生境 Secondary forest; CF: 封闭林生境 Closed forest; TF: 过渡林生境 Transition forest; OF: 原始灌丛林生境 Original shrub forest. 下同 The same below.

表 2 给出了各个生境的物种数及其相对丰富度,具有“+++”的物种为优势物种。所有物种中 23 种为吉林省新记录种隶属于 2 亚科 15 属(杜秀娟等,2006)。长白山北坡 42 种访花食蚜蝇,其分布为:人工植物花园 11 种,干扰次生林 12 种,次生林 19 种,封闭林 10 种,过渡林 22 种,原始灌丛林 12 种。优势访花食蚜蝇物种在 6 个生境的分布分别为 2,3,4,1,4 和 2 种。

2.2 优势物种与特有物种

长白山北坡不同垂直带生境访花食蚜蝇种类与数量的分布研究(表 2)表明:人工植物花园的优势物种为长尾管蚜蝇 *Eristalis tenax* 和黄环粗股食蚜蝇 *Syrpita pipiens*。长尾管蚜蝇分布于所有研究样地,而黄环粗股食蚜蝇仅分布在低海拔的针阔混交林带(干扰次生林和次生林)。只在人工植物花园分布的特有访花食蚜蝇有 2 种,为东方粗股食蚜蝇 *Syrpita orientalis* 和黑带蜂蚜蝇 *Volucella zonaria*,占该生境物种数 18.18%、总物种数的 4.76%。

干扰次生林的优势访花食蚜蝇为黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus*、长尾管蚜蝇 *Eristalis tenax* 和黄环粗股食蚜蝇 *Syrpita pipiens*。此生境无特有访花食蚜蝇物种。

黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus*、长尾管蚜蝇 *Eristalis tenax*、黄颜食蚜蝇 *Syrphus ribesii* 和黄环粗股食蚜蝇 *Syrpita pipiens* 为次生林的优势访花食蚜蝇。只在次生林(针阔混交林带 II)分布的特有访花食蚜蝇有 7 种,占该样地物种数 36.84%、总物种数的 16.67%,分别为条颜垂边食蚜蝇 *Epistrophe nigroepistomata*、短腹管蚜蝇 *Eristalis arbustorum*、线条管蚜蝇 *Helophilus lineatus*、狭带条胸食蚜蝇 *Helophilus virgatus*、印度细腹食蚜蝇 *Sphaerophoria Indiana*、褐翅斑胸食蚜蝇 *Spilomyia maxima* 和拟蜂蚜蝇 *Temnostoma bombylans*。

封闭林的优势访花食蚜蝇为长尾管蚜蝇 *Eristalis tenax*。只在此生境(针叶林带)分布的特有访花食蚜蝇为叉叶细腹食蚜蝇 *Sphaerophoria taeniata*,占该生境物种数 10.00%、总物种数的 2.38%。

过渡林的优势访花食蚜蝇有 4 种,分别为烟翅黑蚜蝇 *Cheilosia nebulosa*、长尾管蚜蝇 *Eristalis tenax*、黄带狭腹食蚜蝇 *Meliscaeva cinctella* 和野食蚜蝇 *Syrphus torvus*。只在过渡林(岳桦林带)分布的特有访花食蚜蝇为烟翅黑蚜蝇 *Cheilosia nebulosa*、杂毛黑蚜蝇 *Cheilosia illustrate*、棕跗黑蚜蝇 *Cheilosia*

kunashirica、双线毛食蚜蝇 *Dasysyrphus bilineatus*、暗突毛食蚜蝇 *Dasysyrphus venustus*、灰带垂边食蚜蝇 *Epistrophe griseofasciata*、暗边密毛食蚜蝇 *Eriozonea nigroscutellata*、拉优食蚜蝇 *Eupeodes lapponicus*、菊美蓝食蚜蝇 *Melangyna compositarum*、斜斑鼓额食蚜蝇 *Scaeva pyrastris* 和圆斑宽扁食蚜蝇 *Xanthandrus comtus*。共计 11 种,占该生境物种数 50.00%、总物种数 26.19%。

黑盾壮食蚜蝇 *Ischyrosyrphus laternarius* 和野食蚜蝇 *Syrphus torvus* 为原始灌丛林的优势访花食蚜蝇。此生境(苔原带)特有物种有 4 种,占该样地物种数 33.33%、总物种数 9.52%;分别为黄颊美蓝食蚜蝇 *Melangyna labiatarum*、暗颊美蓝食蚜蝇 *Melangyna lasiophthalma*、东方墨蚜蝇 *Melanostoma orientale* 和月斑鼓额食蚜蝇 *Scaeva selenitica*。

2.3 物种相似性

通过对不同生境内访花食蚜蝇群落的相似性系数分析发现(表 3),群落相似性最高的两个生境位于高海拔样地,相似性最低的两个生境分别位于低海拔(SF)与高海拔样地(OF)。低海拔生境 BG 与 DF 和 SF 两两中等不相似;高海拔的生境 CF、TF 和 OF 也两两中等不相似。生境 DF 与 OF 中等不相似;生境 BG、SF 分别与 TF、OF 极不相似,而生境 DF 与 TF 极不相似。

不同生境类型的访花食蚜蝇群落组成存在差异,低海拔样地中不同生境群落的相似性比高海拔样地高。群落相似性系数最高的是生境 TF 和 OF 为 0.4667,其次是生境 DF 和 SF 为 0.4545,第三是生境 BG 和 DF 为 0.4118。高海拔样地中干扰程度低的生境物种丰富度低。

高海拔与低海拔样地中每一属的访花食蚜蝇群落相似性为 *Episyrphus* (1.0000)、*Eristalis* (0.2500) 和 *Parasyrphus* (1.0000),两样地的同属群落完全相似;*Syrpita* (0.5000) 和 *Temnostoma* (0.5000) 的同属群落在两样地中等不相似;*Syrphus* (0.6667) 和 *Volucella* (0.6667),两样地的同属群落中等相似。*Cheilosia*、*Dasysyrphus*、*Eriozonea*、*Ischyrosyrphus*、*Melangyna*、*Melanostoma*、*Meliscaeva*、*Xanthandrus* 仅分布在高海拔地区,而 *Helophilus* 和 *Spilomyia* 仅分布在低海拔地区,所以两样地的同属群落相似性系数为 0,群落完全不相似。*Epistrophe*、*Eupeodes*、*Scaeva* 和 *Sphaerophoria* 虽在高海拔与低海拔地区都有分布,但两个样地内不具有共同物种,相似性 0,群落完全不相似。

表 3 长白山北坡不同生境访花食蚜蝇群落
物种 Jaccard 相似性系数

Table 3 Jaccard similarity index of flower-visiting hoverfly
species compositions among different habitats

生境 Habitats	高海拔样地 High site	DF	SF	CF	TF	OF
低海拔样地 Low site	0.1628					
BG		0.4118	0.3043	0.3125	0.1786	0.2352
DF			0.4545	0.3529	0.2069	0.2500
SF				0.3182	0.1714	0.1600
CF					0.2800	0.3333
TF						0.4667

2.4 物种丰富度与多度

不同生境的丰富度及多度存在差异(表4)。同纬度样地的生境中,生境 SF 和 TF 的丰富度最高(分别为 19 和 22),且多度最高(分别为 142 和 90)。低海拔样地的多度高于高海拔样地,生境 SF 的多度最高。生境 CF 和 OF 的丰富度低,生境 SF 和 TF 的多度高。低海拔样地的物种数和个体数分别为 22 和 250,高海拔样地分别为 29 和 182。高海拔样地的个体数占总个体数的 42.13%。高海拔样地与低海拔样地的丰富度存在显著差异($t = 2.140$, $df = 82$, $P = 0.038 < 0.05$)。而高海拔样地与低海拔样地的多度差异不显著($t = 0.640$, $df = 82$, $P = 0.526 > 0.05$)。

表 4 调查生境访花食蚜蝇物种数、个体数量及多样性指数

Table 4 The number of species, mean number of
individuals and diversity index of flower-visiting
hoverflies in surveyed habitats

生境 Habitats	物种数 Total number of species	个体数 Number of individuals	多样性 Species diversity (H')
BG	11	42	1.8435
DF	12	66	1.7610
SF	19	142	2.1550
CF	10	21	1.7225
TF	22	90	2.4953
OF	10	71	1.7488
低海拔样地 Low site	22	250	2.1183
高海拔样地 High site	29	182	2.4790

2.5 物种多样性

不同垂直带生境的访花食蚜蝇多样性指数存在

差异(表4)。生境 TF 的多样性指数最高,生境 CF 的多样性指数最低。高海拔样地与低海拔样地的多样性不存在极显著差异($t = -0.246$, $P = 0.822 > 0.001$)。低海拔样地的不同生境中,生境 BG 和 DF 存在显著差异($t = -2.281$, $P = 0.042 < 0.05$);生境 BG 和 SF($t = -1.851$, $P = 0.90 > 0.05$),生境 DF 和 SF($t = -1.851$, $P = 0.90 > 0.05$)差异不显著。高海拔样地中生境 CF 和 TF,生境 CF 和 OF,生境 TF 和 OF 两两之间差异不显著。

3 讨论

长白山北坡不同干扰程度下访花食蚜蝇群落的物种组成、丰富度及多样性存在差异。封闭林中访花食蚜蝇多样性低于原始灌丛林、干扰和开放森林群落,这与封闭林中蝴蝶群落多样性特征的结果不同(Humphrey *et al.*, 1999; Vu and Yuan, 2003),但与封闭林中其他昆虫物种丰富度较高的结果相一致(Barlow and Woiwod, 1989; Vu and Yuan, 2003)。访花食蚜蝇不仅受到生境的影响,同时也受到开花植物资源被利用程度的影响(Branquart and Hemptinne, 2000)。虽然封闭林中的开花植物资源有限,但花个体数量较大、花期长,可以被多种食蚜蝇开发利用。这有待通过进一步的研究进行确定与探讨。

访花食蚜蝇多样性在低海拔样地的人工植物花园与干扰次生林差异显著,在其他生境中差异均不显著;这由不同生境中分布的访花食蚜蝇访花的特性和开花植物资源密度及可利用程度决定(Frank, 1999; Golden and Crist, 1999; Schweiger *et al.*, 2007)。但是,不排除不同生境样地面积过小,低于访花食蚜蝇的可扩散距离对结果的影响。Vu 和 Yuan (2003)研究蝴蝶的多样性时,发现农田混合生境、干扰程度较大空旷农田中蝴蝶的多样性较高。本研究中,混合生境的过渡林访花食蚜蝇多样性最高,这与上面的叙述相一致。此带的海拔跨度小,分布于原始灌丛林和封闭林的开花植物在此生境也生长,边缘效应显著,开花植物种类和资源较多,访花食蚜蝇的种类在此生境升高。此外,本生境具有许多特有的开花植物物种,它们为食蚜蝇提供访问、取食和生存的条件。因此,本生境分布许多特有的访花食蚜蝇物种如烟翅黑蚜蝇 *Cheilosia nebulosa*、杂毛黑蚜蝇 *Cheilosia illustrate*、棕跗黑蚜蝇 *Cheilosia kunashirica*、双线毛食蚜蝇 *Dasysyrphus bilineatus*、暗突毛食蚜蝇 *Dasysyrphus venustus*、灰带垂边食蚜蝇 *Epistrophe griseofasciata*、暗边密毛食蚜蝇 *Eriozonea nigroscutellata*、拉优食蚜蝇

Eupeodes lapponicus、菊美蓝食蚜蝇 *Melangyna compositarum*、斜斑鼓额食蚜蝇 *Scaeva pyrastris* 和圆斑宽扁食蚜蝇 *Xanthandrus comtus*。

高海拔与低海拔研究样地访花食蚜蝇的物种组成不同。低海拔样地中不同生境访花食蚜蝇组成的相似性较高海拔样地高,物种数也不同。相同海拔高度或研究样地中不同生境的物种丰富度的比较发现,干扰次生林(生境 SF)和过渡林(生境 TF)中物种丰富度最高(分别为 19 和 22),其次是生境 BG 和生境 DF,生境 CF 和 OF 最少。物种丰富度随着海拔高度的变化不具规律性。食蚜蝇的物种丰富度随着海拔高度的升高不呈线性降低(Rahbek, 1995)。而农田中食蚜蝇物种丰富度的下降与半自然生境(干扰)的减少和联系程度有关(Krebs *et al.*, 1999; Robinson and Sutherland, 2002; Hendrickx *et al.*, 2007),但由食蚜蝇的物种特化程度及扩散能力等特性决定(Golden and Crist, 1999)。而那些物种特化程度低和移动能力强的类群物种丰富度受环境变化和空间范围的影响较小(Schweiger *et al.*, 2007)。一些物种具中等特异性,对生境片断化和作物(植物)多样性的依赖性较强,而当地生境特点所起作用较小(Schweiger *et al.*, 2007)。访花食蚜蝇物种丰富度和多样性也由食蚜蝇的物种特化程度和扩散能力决定(Wratten *et al.*, 2003)。将来,可进行 6 个生境中访花食蚜蝇的物种特化程度与扩散能力研究来分析物种丰富度的特征。

由于生境的干扰,中国长白山和其他一些发展中国家许多特有物种正处于濒危,有些甚至已经灭绝(Vu and Yuan, 2003)。分布范围广的访花食蚜蝇种类扩散能力强,是与森林干扰程度和开阔区的开阔程度紧密相连外来物种,这与蝴蝶的研究结果一致(Vu and Yuan, 2003)。特有的访花食蚜蝇物种仅分布在特定的森林生境中,这与蝴蝶对当地不同生境、甚至相同生境小小的干扰就很敏感的结果相类似(Spitzer *et al.*, 1997)。我们的研究发现,几乎每个生境都有珍稀特有的访花食蚜蝇物种,它们的保护很重要。随着长白山旅游业的发展,生境受到不同程度的干扰,适宜生境的消失,导致访花食蚜蝇的灭绝。大多数郁闭度较大环境中食蚜蝇幼虫,需要在成虫阶段取食花蜜和花粉来完成性成熟(Gittings *et al.*, 2006)。高的开花植物密度可为食蚜蝇提供取食的生境(Frank, 1999),因此,访花食蚜蝇特有物种的保护应与开花植物和生境的保护同步进行。

访花食蚜蝇在开花植物的繁衍和生存中起着重

要作用。一些特有、珍稀开花植物仅分布于特定生境。一旦生境的干扰造成访花食蚜蝇灭绝,也将导致开花植物的灭绝。此外,人们正在大量不合理的开采长白山的森林资源。需要大力保护生境、访花食蚜蝇及开花植物,长白山生物多样性的保护则更为重要。人工植物花园就是开花植物、访花食蚜蝇和昆虫保护的一个实际例子,效果显著。

参 考 文 献 (References)

- Barlow HS, Woiwod IP, 1989. Moth diversity of a tropical forest in Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*, 5: 37–50.
- Branquart E, Hemptinne JL, 2000. Selectivity in the exploitation of floral resources by hoverflies (Diptera: Syrphinae). *Ecography*, 23: 732–742.
- Castella E, Speight MCD, Obrdlik P, Schneider E, Lavery TA, 1994. Methodological approach to the use of terrestrial invertebrates for the assessment of alluvial wetlands. *Wet. Ecol. Manage*, 3: 17–36.
- Chambers RJ, Adams THL, 1986. Quantification of the impact of hoverflies (Diptera: Syrphidae) on cereal aphids in winter wheat: an analysis of field populations. *Journal of Applied Ecology*, 23: 895–904.
- Cheng XY, 2004. Syrphids. *Bulletin of Biology*, 39(2): 9–12. [成新跃, 2004. 食蚜蝇. 生物学通报, 39(2): 9–12]
- Du XJ, Ren BZ, Wu YG, Yuan HB, 2006. Study on flower-visiting insect on the north slope of Changbai Mountain (I): Twenty-three new recording species of Syrphidae flies from Jilin Province. *Journal of Jilin Agricultural University*, 28(4): 373–375. [杜秀娟, 任炳忠, 吴艳光, 袁海滨, 2006. 长白山北坡访花昆虫研究(I)——吉林省访花食蚜蝇科昆虫 23 新记录种. 吉林农业大学学报, 28(4): 373–375]
- Frank T, 1999. Density of adult hoverflies (Diptera, Syrphidae) in sown weed strips and adjacent fields. *Journal of Applied Entomology*, 123: 351–355.
- Gao WT, Meng QF, Zheng XB, Zhang YZ, Li Y, 2005. Fauna of flower-visiting longicorn beetles in north slope of Changbai Mountain. *Entomological Knowledge*, 42(6): 691–695. [高文韬, 孟庆繁, 郑兴波, 张彦焯, 李燕, 2005. 长白山北坡访花天牛区系研究. 昆虫知识, 42(6): 691–695]
- Gilbert FS, 1981. Foraging ecology of hoverflies: Morphology of the mouthparts in relation to feeding on nectar and pollen in some common urban species. *Ecological Entomology*, 6: 245–262.
- Gittings T, O'Halloran J, Kelly T, Giller PS, 2006. The contribution of open spaces to the maintenance of hoverfly (Diptera, Syrphidae) biodiversity in Irish plantation forests. *Forest Ecology and Management*, 237: 290–300.
- Golden DM, Crist TO, 1999. Experimental effects of habitat fragmentation on old-field canopy insects: Community, guild and species responses. *Oecologia*, 118: 371–380.
- Grosskopf G, Smith LA, Syrett P, 2002. Host range of *Cheilosia urbana*

- (Meigen) and *Cheilosia psilophthalma* (Becker) (Diptera: Syrphidae), candidates for the biological control of invasive alien hawkweeds (*Hieracium* spp., Asteraceae) in New Zealand. *Biological Control*, 24 (1): 7–19.
- Hao XL, Ren BZ, Wu YG, Du XJ, Guan ZY, Li N, 2006. Research on pollinators in Changbaishan area (II): Species and distribution of pollinators. *Journal of Jilin Normal University (Natural Science Edition)*, (3): 61–65. [郝锡联, 任炳忠, 吴艳光, 杜秀娟, 官昭瑛, 李娜, 2006. 长白山北坡访花昆虫研究(II)——访花昆虫种类与分布. 吉林师范大学学报(自然科学版), (3): 61–65]
- Hendrickx F, Maelfait JP, Van Wingerden W, Schweiger O, Speelmans M, Aviron S, Augenstein I, Billeter R, Bailey D, Bukacek R, Burel F, Diekötter T, Dirksen J, Herzog F, Liira J, Roubalova M, Vandomme V, Bugter R, 2007. How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 44: 340–351.
- Hindayana D, Meyh-fer R, Scholz D, Poehling HM, 2001. Intraguild predation among the hoverfly *Episyrphus balteatus* de Geer (Diptera: Syrphidae) and other aphidophagous predators. *Biological Control*, 20 (3): 236–246.
- Humphrey JW, Hawes C, Peace AJ, Ferris-Kaan R, Jukes MR, 1999. Relationships between insect diversity and habitat characteristics in plantation forests. *Forest Ecology and Management*, 113 (1): 11–21.
- Katzourakis A, Purvis A, Azmeh S, Rotheray G, Gilbert F, 2001. Macroevolution of hoverflies (Diptera: Syrphidae): the effect of using higher-level taxa in studies of biodiversity, and correlates of species richness. *Journal of Evolutionary Biology*, 14: 219–227.
- Keil P, Konvicka M, 2005. Local species richness of Central European hoverflies (Diptera: Syrphidae): a lesson taught by local faunal lists. *Diversity and Distributions*, 11: 417–426.
- Krebs JR, Wilson JD, Bradbury RB, Siriwardena GM, 1999. The second silent spring? *Nature*, 400: 611–612.
- Pollard E, 1977. A method for assessing changes in the abundance of butterflies. *Biological Conservation*, 12: 115–134.
- Pollard E, Elias DO, Skelton MJ, Thomas JA, 1975. A method of assessing the abundance of butterflies in Monks Wood National Nature Reserve in 1973. *Entomologist's Gazette*, 26: 79–88.
- Rahbek C, 1995. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography*, 18: 200–205.
- Reemer M, Kok F, de Bruyne RH, Kalkman VJ, Turin H, 2005. Suitability of different groups of terrestrial invertebrates for assessment of heterogeneity of terrestrial parts of lowland floodplains. *Large Rivers*, 15: 289–303.
- Ren BZ, Wei WJ, Meng QF, 2003. The study of visiting butterflies in Changbai mountainous region. *Journal of Jilin Agricultural University*, 25 (6): 615–620. [任炳忠, 魏文娟, 孟庆繁, 2003. 长白山地区访花蝴蝶的初步研究. 吉林农业大学学报, 25 (6): 615–620]
- Ren BZ, Wu YG, Du XJ, Guan ZY, Li N, Yuan HB, 2006. Research on pollinators in north slope of Changbai Mountain (III): Diversity of pollinators. *Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition)*, 38 (3): 96–100. [任炳忠, 吴艳光, 杜秀娟, 官昭瑛, 李娜, 袁海滨, 2006. 长白山北坡访花昆虫研究(III)——访花昆虫多样性. 东北师大学报(自然科学版), 38 (3): 96–100]
- Robinson RA, Sutherland WJ, 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *Journal of Applied Ecology*, 39: 157–176.
- Roy HE, Pell JK, Clark SJ, Alderson PG, 1998. Implications of predator foraging on aphid pathogen dynamics. *Journal of Invertebrate Pathology*, 71 (3): 236–247.
- Schweiger O, Musche M, Bailey D, Billeter R, Diekötter T, Hendrickx F, Herzog F, Liira J, Maelfait JP, Speelmans M, Dziock F, 2007. Functional richness of local hoverfly communities (Diptera, Syrphidae) in response to land use across temperate Europe. *Oikos*, 116: 461–472.
- Sommaggio D, 1999. Syrphidae: can they be used as environmental bioindicators? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74: 343–356.
- Speight MCD, 2003. Species accounts of European Syrphidae (Diptera) 2003. In: Speight MCD *et al.* eds. *Syrph the Net, the Database of European Syrphidae*. Vol. 39. Syrph the Net Publications, Dublin.
- Spitzer K, Jaros J, Havelka J, Leps J, 1997. Effect of small-scale disturbance on butterfly communities of an Indochinese montane rainforest. *Biological Conservation*, 80: 9–15.
- Stubbs AE, 1982. Hoverflies as primary woodland indicators with reference to Wharmcliffe woods. *Sorby Record*, 20: 62–67.
- Sutherland PJ, Sullivan MS, Poppy GM, 2001. Distribution and abundance of aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae) in wildflower patches and field margin habitats. *Agricultural and Forest Entomology*, 3: 57–64.
- Thompson FC, Rotheray GE, 1998. Family Syrphidae. In: Pa PPL, Darvas B eds. *Manual of Palaearctic Diptera*. *Science Herald*, 3: 81–139.
- Vu VL, Yuan DC, 2003. The differences of butterfly (Lepidoptera, Papilionoidea) communities in habitats with various degrees of disturbance and altitudes in tropical forests of Vietnam. *Biodiversity and Conservation*, 12: 1 099–1 111.
- Wratten SD, Bowie MH, Hickman JM, Evans AM, Sedcole JR, Tylianakis M, 2003. Field boundaries as barriers to movement of hover flies (Diptera: Syrphidae) in cultivated land. *Oecologia*, 134: 605–611.
- Xue WQ, Zhao JM, 1996. Flies of China. Liaoning Science and Technology Publishing House, Shenyang. 118–223. [薛万琦, 赵建铭, 1996. 中国蝇类. 沈阳: 辽宁科学技术出版社. 118–223]
- Zhu TC, 2003. The Plants on the Changbaishan Massif of China. China Science and Technology Press, Beijing. [祝廷成, 2003. 中国长白山植物. 北京: 科学技术出版社]

(责任编辑: 袁德成)