

DOI: 10.5846/stxb201803190538

周文婕, 仲磊, 黄杰灵, 谢央央, 罗媛媛. 千岛湖片段化景观中蜘蛛群落物种多样性和功能群结构及其影响因素研究. 生态学报, 2019, 39(6):

Zhou W J, Zhong L, Huang J L, Xie Y Y, Luo Y Y. Species diversity, functional group structure, and influencing factors of spider community in fragmented landscape of Thousand Island Lake. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(6):

千岛湖片段化景观中蜘蛛群落物种多样性和功能群结构及其影响因素研究

周文婕¹, 仲磊², 黄杰灵¹, 谢央央¹, 罗媛媛^{1,*}

¹ 中国计量大学生命科学学院, 杭州 310018

² 浙江大学生命科学院, 杭州 310058

摘要: 生境片段化对蜘蛛群落有着重要影响, 目前这方面的研究较少, 多集中于不同植被类型间蜘蛛群落的比较研究。在千岛湖片段化景观中选取 16 个陆桥岛屿, 从 2010 年春季到 2011 年秋季, 按季度(春、夏、秋季)6 次采用 Winkler 法收集蜘蛛标本, 分析其物种多度、多样性、季节动态和功能群差异, 并对不同大小岛屿上蜘蛛的功能群的多度以及功能群比例差异进行单因素方差分析。结果表明: 共收集到蜘蛛标本 3503 头, 用于统计分析的成蛛 1438 头, 归属于 30 科 82 种, 其中幽灵蛛科(*Spermophora*)、管巢蛛科(*Clubionidae*)、螳螂科(*Ctenizidae*)、蟹蛛科(*Thomisidae*)分别占总数的 7.37%、6.61%、5.84%、5.29%, 螳螂科(*Ctenizidae*)在 16 个岛屿上均有分布。Shannon-Wiener 指数在不同季节间差异显著($P < 0.05$), 物种丰富度在秋季最高。在功能群上, 伏击型蜘蛛的多度最高, 其次为游猎型蜘蛛, 结圆网型蜘蛛多度最低, 穴居型蜘蛛的多度与其他各功能群呈显著差异($P < 0.05$); 游猎型蜘蛛与伏击型蜘蛛的多度均显著高于结皿网型蜘蛛与结圆网型蜘蛛($P < 0.05$); 蜘蛛的各功能群数量在小岛与大岛这两种不同的岛屿类型上表现出显著差异, 小岛上伏击型蜘蛛的物种数显著高于大岛上的物种数; 比例上, 结皿网型蜘蛛和伏击型蜘蛛在小岛上占功能群总体数目的比例显著低于大岛上的比例($P < 0.05$), 小岛上的游猎型蜘蛛占功能群总体数目的比例显著高于大岛上的比例($P < 0.05$), 结圆网型蜘蛛与穴居型蜘蛛在不同类型的岛屿间不存在显著差异。总体而言, 秋季蜘蛛物种丰富度最高, 蜘蛛的多样性与季节相关; 生境片段化对蜘蛛功能群的分布产生了一定影响。

关键词: 生境片段化; 陆桥岛屿; 蜘蛛; 功能群; 岛屿面积

Species diversity, functional group structure, and influencing factors of spider community in fragmented landscape of Thousand Island Lake

ZHOU Wenjie¹, ZHONG Lei², HUANG Jiuling¹, XIE Yangyang¹, LUO Yuanyuan^{1,*}

¹ College of Life Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China

² College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

Abstract: Habitat fragmentation has important effects on the spider community; however, the few research studies in this area are mostly comparative studies between different forest types. In this study, we sampled spiders using Winkler traps six times from 2010 to 2011 (in three seasons, spring, summer, and autumn) on 16 land-bridge islands in the Thousand Island Lake, East China. We analyzed the species abundance, diversity, and seasonal dynamics and compared the differences between functional groups. Furthermore, one-way analysis of variance was used to analyze the effects of island area on different spider functional groups. The results showed that 3503 spider individuals were collected, including 1438,

基金项目: 国家自然科学基金项目(31440030); 浙江省自然科学基金项目(LY12C03011)

收稿日期: 2018-03-19; **网络出版日期:** 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yyluo@cjl.u.edu.cn

which were identifiable adults belonging to 30 families and 82 species. Among the identifiable individuals, *Spermophora* sp. 1, Clubionidae sp. 2, Ctenizidae sp. 2, and Thomisidae sp. 3 accounted for 7.37%, 6.61%, 5.84%, and 5.29%, and Ctenizidae sp. 2 were sampled on all 16 islands. The Shannon-Wiener index revealed that the difference in the spider diversity between the various seasons was significant ($P < 0.05$). Spiders showed the highest diversity in autumn compared with that in spring and summer. For the functional group structure, the abundance of Ambush predators was the highest, followed by that of Cursorial hunters was, and that of Orb weavers was the lowest. There was a significant difference in individuals between the Burrowing spiders and other functional groups ($P < 0.05$). The individual Cursorial hunters and Ambush predators were significantly higher than those of Sheet-line and Orb weavers were ($P < 0.05$). The individuals in the functional group showed significant differences between the small and large islands. The diversity of Ambush predators on small islands was significantly higher than that on the large islands was. The proportion of Sheet-line weavers and Ambush predators on the small islands was significantly lower than that on the large islands was; the proportion of Cursorial hunters on small islands was significantly higher than that on large islands; but for Orb weavers and Burrowing spiders, there was no significant difference between the small and large islands. In conclusion, spider diversity showed seasonal dynamics and, to a certain extent, the habitat fragmentation affected the distribution of different spider functional groups.

Key Words: habitat fragmentation; land-bridge island; spider; functional group; island area

生境片段化(或生境破碎化)是指大面积连续分布的生境变成空间上相对隔离的多个片段化小生境^[1]。近几十年来,因人类活动的影响,生境片段化现象日益严重^[2]。人为活动所造成的生境片段化是生物多样性丧失的主要原因之一^[3]。生境片段化形成的片段的面积大小和隔离度等因素对生物多样性的影响成为当前保护生物学研究的一个热点^[4-5]。

蜘蛛隶属于节肢动物门(Arthropoda)蛛形纲(Arachnida)蜘蛛目(Araneae),是一类种类繁多、数量巨大、分布广泛的捕食性生物,对抑制农林害虫发生、维持生态系统稳定等方面具有重要作用^[6-8]。蜘蛛和其它无脊椎动物类群相比,能被有效捕捉和鉴定^[9-11]。且由于蜘蛛对环境因子变化高度敏感,可以作为监测环境变化的指示类群,能够很好地反映环境变化过程及其对生物多样性的影响^[12-13]。因此,蜘蛛被广泛地用作环境对生物多样性影响的指示生物^[14-15]。

千岛湖位于浙江省淳安县境内,是1959年新安江水电站建设蓄水形成的人工湖泊,水面面积573 km²,岛屿面积409 km²,水位最高(108 m 高程)时面积大于2500 m²的岛屿有1078个^[16]。千岛湖库区内的岛屿和周边湖水形成的景观就是全球生境片段化的缩影,原有连续山脉的一座座山峰因水库大坝建设形成千余个岛屿(片段),组成了独一无二的片段化景观,故从生物遗传、个体、群落、生态系统和景观等各个层次,千岛湖库区是开展科学研究的理想场所,已成为全球生境片段化研究八个重要平台之一^[17]。目前,已在千岛湖地区进行了不少研究,但主要是关于脊椎动物和植物的研究^[18-20],对节肢动物也进行了部分研究,多集中于昆虫,对蜘蛛的研究仅可见于Wu等^[21],该文研究的是蜘蛛的beta多样性,并且与本研究采取的取样方法不同,在功能群的划分上也有所不同。

本文选取千岛湖生境片段化景观中16个陆桥岛屿的蜘蛛群落作为研究对象,对不同岛屿上的蜘蛛多度以及种类分布做了调查研究,分析其物种多度、物种多样性、季节动态和功能群结构,并对不同大小岛屿上蜘蛛功能群组成的差异进行分析,从而探讨千岛湖片段化对蜘蛛群落物种多样性、功能群结构和季节变化等的影响,旨在丰富千岛湖库区景观生态学和生物地理学研究,为片段化景观中生物多样性保护对策的制定提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 样岛选取

根据最新清晰度卫星照片(或者航片资料)和淳安县开发总公司提供的千岛湖景观参数地形图,并结

合千岛湖库区开展的相关工作^[22-23]进行实地勘查,选取了 16 个不同面积和隔离度(距最近大陆的距离)的陆桥岛屿作为研究样岛,样岛编号沿用千岛湖植物群落调查使用的统一编号(图 1)。

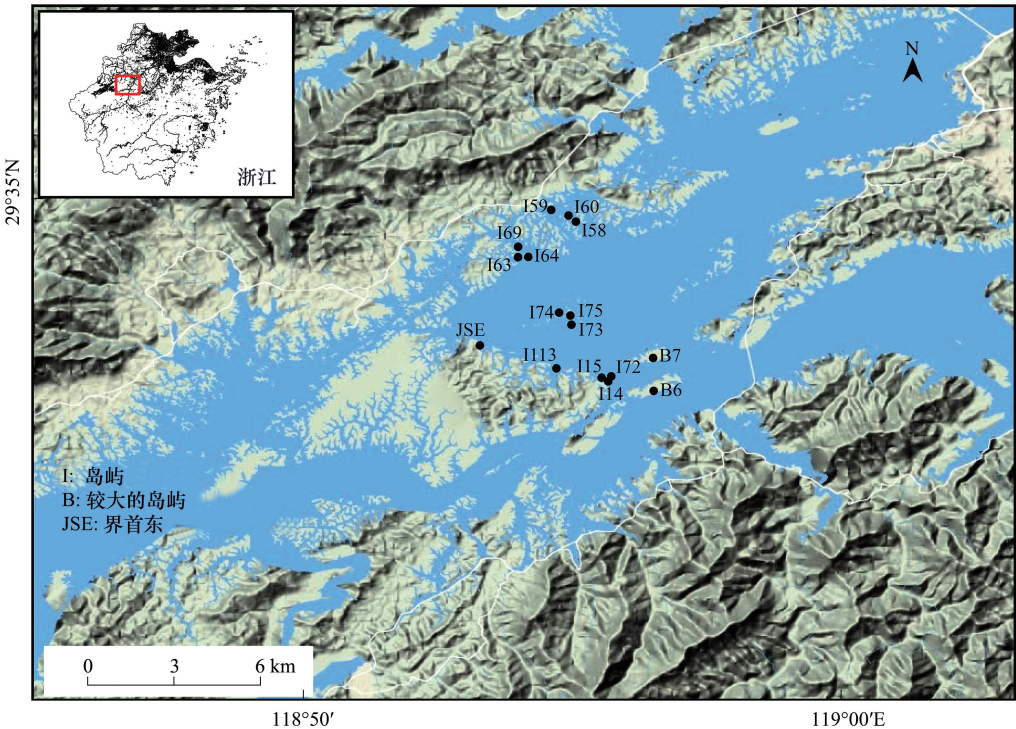


图 1 千岛湖 16 个研究岛屿分布图

Fig.1 Distribution of study islands in the Thousand Island Lake region

考察千岛湖库区的研究岛屿的实地状况,并参考 Terborgh 等^[24]研究方法,按面积大小将这 16 个岛屿划分为 2 种类型:小岛(面积<1 hm²) 11 个,大岛(面积>1 hm²) 5 个。按照岛屿面积的大小确定采样样方个数,分别设立 10 个、15 个、20 个和 25 个样方,其中由于 JSD 岛屿面积大,故设立了 30 个样方(表 1)。

表 1 千岛湖样岛的地理参数

Table 1 Geographical parameters of study islands in Thousand-Island Lake region

岛屿大小 Size of island	岛屿编号 No. of island	105m 高程面积 Area at 105 m a. s. l. /hm ²	距最近大陆的距离 Distance to the nearest mainland/m	样方数 Plot number
小岛 Small island (面积<1 hm ²)	I60	0.14	387.1	10
	I59	0.19	398.18	10
	I73	0.25	1442.86	10
	I74	0.39	1756.01	10
	I69	0.42	1056.16	10
	I14	0.46	189.55	10
	I15	0.62	34.13	15
	I72	0.69	34.01	15
	I58	0.84	690.03	15
	I75	0.86	1664.07	15
	I113	0.99	110.19	15
大岛 Large island (面积>1 hm ²)	I64	1.31	770.51	20
	I63	1.33	391.26	20
	B7	27.49	949.7	25
	B6	47.98	487.63	25
	JSD	1153.88	861	30

表中的岛点符号请参看图 1

1.2 取样和标本鉴定

2010年春季至2011年秋季,春、夏、秋共六个季度均采用 Winkler 法^[25]采集样岛上的蜘蛛,这是一种相对简便高效的方法,对生境的破坏不大,具有保持土壤完整,方便长期在野外进行调查土壤动物等优势^[26]。相对于巴氏陷阱法^[27],Winkler 法取样时既可以取土表土样(可包括枯枝落叶),也可挖取深层土样,故 Winkler 法对生活在地表和土壤深层的土壤节肢动物均有较好的分离效率^[28-29]。我们使用高为 20 cm,面积为 0.5 m×0.5 m 的采集框,沿着土壤纵剖面挖取土样,厚度为 2 cm 左右,将挖取得到的土样和其表面的枯枝落叶一起全部放到密封袋里,用孔径为 2 cm 的筛网去掉密封袋中的土样内较大的石块,再把去掉石块剩下的土样等分成三袋,装入网筛孔径为 2 mm 的 Winkler Sacks 中,经过 72 h 的悬挂后,将布袋底部装有甘油和 75%酒精混匀物的塑料杯取下,收集其中的动物样本,最后再把袋子里的土样重新倒回原来的地方(图 2)。采集到的标本使用浓度为 75%的酒精来保存。

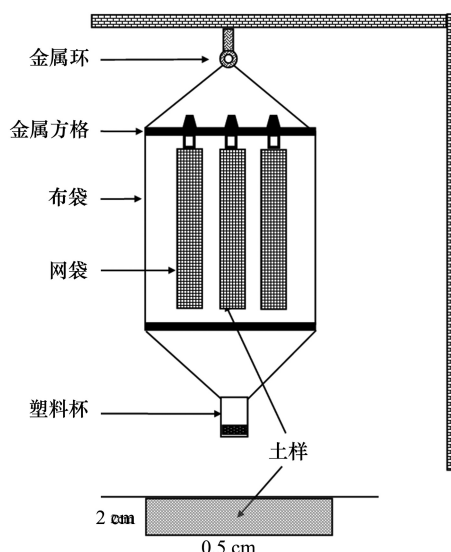


图 2 每个样方内的 Winkler 法剖面图

Fig.2 The profile Winkler method in every plot

分类鉴定时,将蜘蛛样本取出放到培养皿中,参考中国土壤动物检索图鉴^[30]以及《中国蜘蛛原色图鉴》^[31],分类鉴定到形态种。分类鉴定后统计每个样岛蜘蛛的数目与种类,比较分析物种多样性。

根据蜘蛛结网和捕食行为的特点,参考 Höfer 与 Brescovit^[32]和 Sørensen^[33]等的功能群分类方法,将从千岛湖 16 个样岛中所采集的蜘蛛分为五种类型:穴居型、结皿网型、结圆网型、伏击型和游猎型。

1.3 数据处理

分别对各样岛 6 次收集的蜘蛛进行物种数及多度(个体数)的记录,并对 2 年所获得的蜘蛛进行优势种、常见种以及稀有种的分析,蜘蛛的优势等级以某一种多度占个体总数的百分比来划分^[34]。

分析蜘蛛的 α 多样性,选用的 α 多样性指数为 Shannon 多样性指数(H)、Simpson 多样性指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J)^[35]。采用单因素方差分析、线性回归等方法对不同样岛的功能群差异以及不同大小岛屿上蜘蛛的功能群的多度差异进行分析。

运用 R 语言对采样数据进行分析,计算物种累积曲线,验证采样充分性,利用物种累积曲线判断抽样量是否充分是根据曲线的特征来判断:如果曲线一直急剧上升,几为直线,表明抽样量不足,需要增加抽样量;如果曲线在急剧上升后变为渐近线,上升舒缓,则表明取样充分^[36]。对不同的样岛的蜘蛛群落进行 PCA 排序,分析各岛屿群落相似性。

在以上分析中,均选用 R 3.0.2 的 vegan 2.0-10 软件完成^[37]并作图。

2 结果与分析

2.1 采样充分性分析

由图 3 可知,16 个研究样岛中绝大部分的物种累

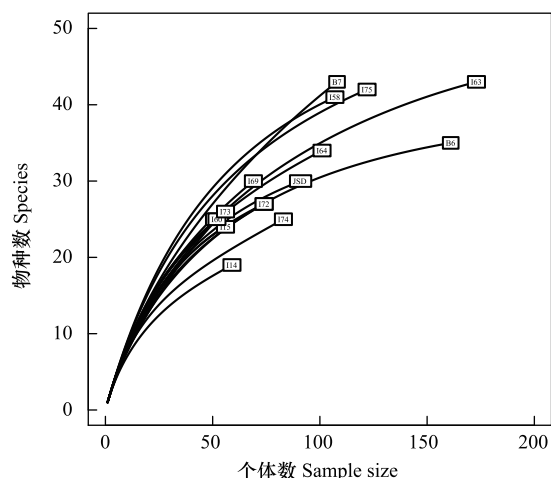


图 3 16 个样岛蜘蛛物种累积曲线

Fig.3 Rarefaction curves of spider species on 16 study islands

积曲线在初期上升剧烈,后期相对趋于平缓,表明对相应样岛的蜘蛛群落采集较充分。另外,该曲线逐渐接近渐近线,说明如果继续增加取样,蜘蛛的种类数将达到最大值。

2.2 蜘蛛群落物种组成

2010 年与 2011 年均分为春、夏、秋三季取样 6 次共获得蜘蛛 30 科 82 种 1438 头(附表),其中螳螂科(*Ctenizidae* sp. 2)在 16 个岛屿上均有分布。优势种为六眼幽灵蛛属(*Spermophora* sp. 1)、管巢蛛科(*Clubionidae* sp. 2)、螳螂科(*Ctenizidae* sp. 2)、蟹蛛科(*Thomisidae* sp. 3)分别占总数的 7.37%、6.61%、5.84%、5.29%;常见种为节板蛛科(*Heptathela* sp. 2)、螳螂科(*Ctenizidae* sp. 1、*C.* sp. 3、*C.* sp. 4)、跳蛛科(*Salticidae* sp. 1、*S.* sp. 4)、管巢蛛科(*Clubionidae* sp. 1)、平腹蛛科(*Gnaphosidae* sp. 1、*G.* sp. 2、*G.* sp. 3)、佐蛛科(*Zoridae* sp. 1)、近管蛛科(*Anyphaonidae* sp. 1)、六眼幽灵蛛属(*Spermophora* sp. 3、*S.* sp. 5)、卵形蛛科(*Oonopidae* sp. 5)、栉足蛛科(*Ctenidae* sp. 1)、逍遥蛛科(*Philodromidae* sp. 1、*P.* sp. 4、*P.* sp. 6)、巨蟹蛛科(*Sparassidae* sp. 3、*S.* sp. 6)、蟹蛛科(*Thomisidae* sp. 1)、栅蛛科(*Hahniidae* sp. 1)分别占总数的 2.02%、3.96%、2.36%、2.16%、3.48%、2.5%、3.48%、1.46%、1.81%、2.43%、1.04%、2.85%、4.45%、1.25%、1.32%、2.57%、2.57%、2.29%、3.62%、2.02%、2.09%、2.09%、3.69%,其他种的多度占总数的百分比均小于 1.0%,为本地区的稀有类群。

以蜘蛛的物种及每个物种所对应的多度为属性对 16 个研究样岛进行 PCA 分析,结果(图 4)表明:样岛 I63、I58、I74、I75、B6、B7 在图中分布较散,说明它们与其他样岛的相似性相对较低;其余岛屿分布较为密集,但并未重合,说明相似性较高但也有区别。

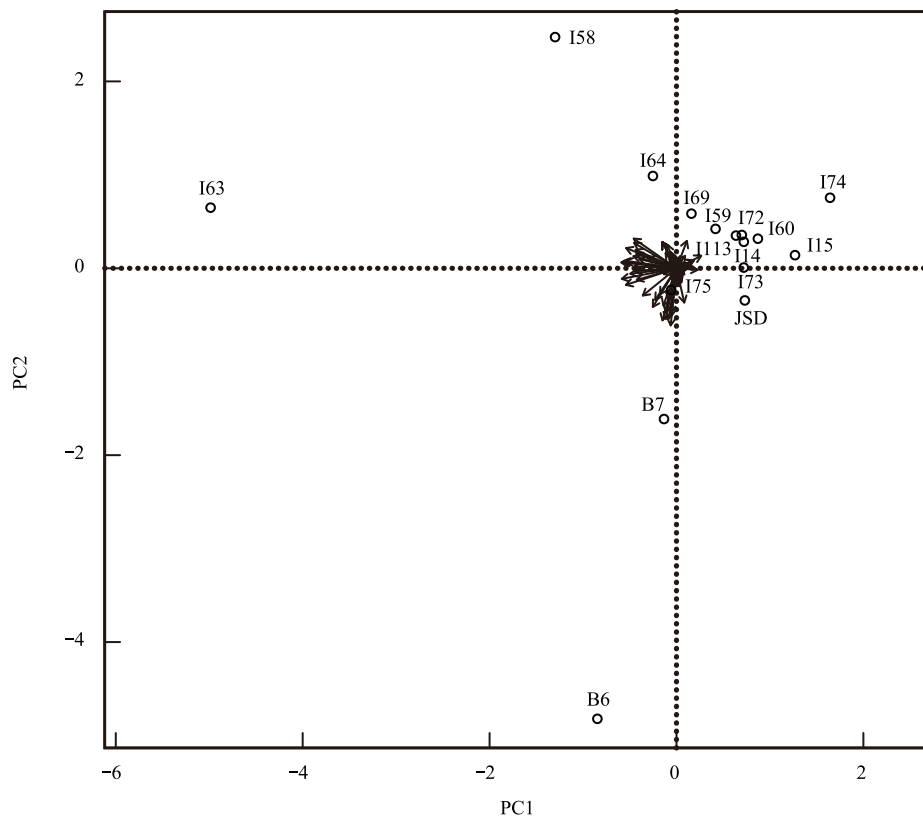


图 4 82 种蜘蛛与 16 个岛屿关系的 PCA 排序图

Fig.4 Ordination diagram of the first two axes of principal component analysis for 82 spider species and 16 islands in the Thousand-Island Lake

2.3 蜘蛛的 α 多样性

本次研究中大岛与小岛间的 α 多样性无显著差异($P>0.05$)。计算 α 多样性指数发现(表 2),样岛 I58 与 I75 的 Shannon 多样性指数相对其他岛屿较高,同时这两个样岛的 Simpson 指数最高,样岛 I113 的 Pielou

均匀度指数最高;样岛 I14 的 Shannon 多样性指数、Simpson 指数最低,样岛 B6 的 Pielou 均匀度指数最低。

表 2 千岛湖各样岛蜘蛛的 α 多样性
Table 2 α diversity of spiders on different islands

样岛编号 Plot No.	Shannon 指数 Shannon index	Simpson 指数 Simpson index	Pielou 指数 Pielou index	样岛编号 Plot No.	Shannon 指数 Shannon index	Simpson 指数 Simpson index	Pielou 指数 Pielou index
I60	2.77	0.89	0.70	I58	3.50 **	0.96 **	0.75
I59	3.04	0.94	0.71	I75	3.47	0.96 **	0.72
I73	3.03	0.94	0.75	I113	3.02	0.94	0.76 **
I74	2.84	0.93	0.64	I64	3.21	0.95	0.70
I69	3.11	0.94	0.73	I63	3.19	0.92	0.62
I14	2.52 *	0.88 *	0.62	B7	3.33	0.95	0.71
I15	2.92	0.93	0.72	B6	3.06	0.92	0.60 *
I72	2.95	0.93	0.68	JSD	3.10	0.94	0.69

* 代表最小值; ** 代表最大值

2.4 蜘蛛物种多样性格局的季节动态

在 6 次取样中(表 3),其中 2010 年夏季所获得的蜘蛛多度最少,2010 年秋季所获得的蜘蛛的多度最多,不同季度采样所获得的蜘蛛在岛屿间不存在显著差异。

表 3 千岛湖各样岛蜘蛛物种丰富度及多度分布
Table 3 Species richness and quantity distribution of spiders in different islands of Thousand-Island Lake

样岛 Islands	2010						2011					
	春 Spring		夏 Summer		秋 Autumn		春 Spring		夏 Summer		秋 Autumn	
	物种数 Species richness	多度 Abundance	物种数 Species richness	多度 Abundance	物种数 Species richness	多度 Abundance	物种数 Species richness	多度 Abundance	物种数 Species richness	多度 Abundance	物种数 Species richness	多度 Abundance
I60	10	15	1	1	1	1	3	5	9	19	6	11
I59	11	15	0	0	4	4	9	16	10	25	10	14
I73	5	6	0	0	14	23	3	3	12	14	5	10
I74	5	14	0	0	12	30	9	14	7	10	8	15
I69	8	13	5	7	11	12	3	3	13	18	11	16
I14	0	0	0	0	12	39	6	9	4	4	6	7
I15	0	0	0	0	13	27	1	1	15	19	8	9
I72	6	10	0	0	13	24	1	1	13	20	13	19
I58	17	29	13	15	8	9	5	6	18	24	15	24
I75	10	12	0	0	28	60	5	5	12	26	13	19
I113	3	4	0	0	17	24	0	0	4	8	12	16
I64	12	14	3	4	21	49	5	6	6	7	13	21
I63	13	15	7	7	11	25	10	13	15	31	27	82
B7	6	7	7	7	19	35	12	15	16	28	11	16
B6	12	14	10	22	12	17	10	24	18	61	11	23
JSD	4	4	0	0	21	47	3	3	15	24	10	13

千岛湖 16 个岛屿样岛的蜘蛛物种丰富度秋季最高(图 5),Shannon 指数在春季与秋季间差异显著($P<0.05$),夏季与秋季间差异显著($P<0.05$);Simpson 指数与 Pielou 指数在不同季度间差异不显著

2.5 功能群分析

蜘蛛功能群的组成上根据蜘蛛结网和捕食行为的特点,将从千岛湖 16 个样岛中所采集的蜘蛛分为五种类型:穴居型:节板蛛科、螳螂科、弱蛛科、地蛛科、大疣蛛属;游猎型:拟平腹蛛科、跳蛛科、管巢蛛科、平腹蛛科、狼蛛科、猫蛛科、盗蛛科、光盔蛛科、佐蛛科、逸蛛科、近管蛛科;结皿网型:皿蛛科、幽灵蛛科、六眼幽灵蛛

属、漏斗蛛科;伏击型:卵形蛛科、栉足蛛科、逍遥蛛科、巨蟹蛛科、蟹蛛科;结圆网型:园蛛科、球体蛛科、类石蛛科、栅蛛科、卷叶蛛科。

其中伏击型蜘蛛的多度最高,其次为游猎型蜘蛛,结圆网型蜘蛛多度最低,穴居型蜘蛛与其他各功能群呈显著差异($P<0.05$);游猎型蜘蛛与伏击型蜘蛛的多度均显著高于结皿网型蜘蛛与结圆网型蜘蛛($P<0.05$);其余功能群间不存在显著差异(图 6)。

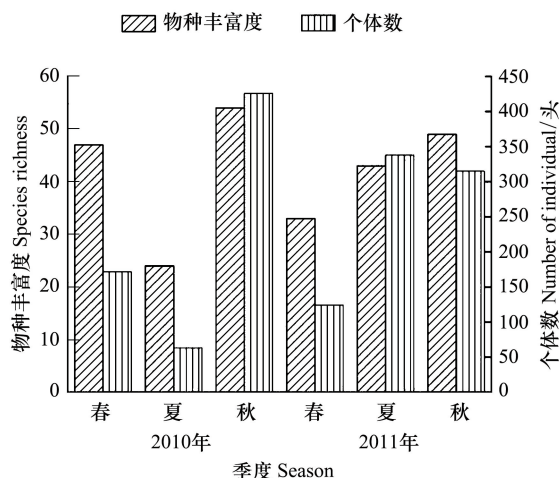


图 5 千岛湖样岛蜘蛛物种丰富度的季节动态

Fig.5 Species abundances of spiders in different seasons in the Thousand-Island Lake region

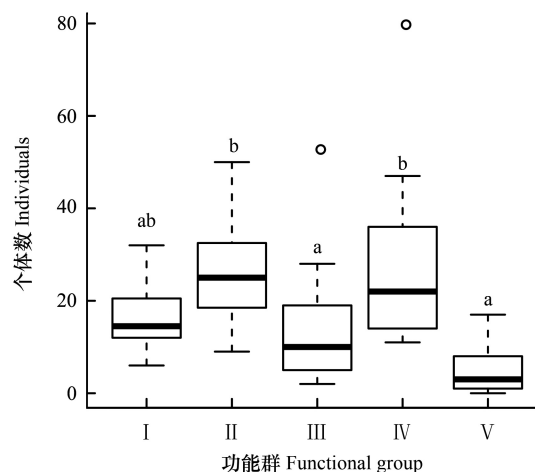


图 6 不同蜘蛛功能群的多度差异

Fig.6 Individuals of various spider guilds across sampling islands

蜘蛛的功能群组成和数量在小岛与大岛这两种不同的岛屿类型上表现出显著差异。小岛上伏击型蜘蛛的物种数显著高于大岛上的物种数($P<0.05$);其余功能群在不同类型的岛屿间不存在显著差异。比例上,结皿网型蜘蛛和伏击型蜘蛛在小岛上占功能群总体数目的比例显著低于大岛上的比例($P<0.05$),小岛上的游猎型蜘蛛占功能群总体数目的比例显著高于大岛上的比例($P<0.05$),结圆网型蜘蛛与穴居型蜘蛛在不同类型的岛屿间不存在显著差异(图 7)。

3 讨论

本次调查共设样岛 16 个,历时两年 6 次取样,即除了冬天,其余每个季节均进行了两次采样。共获得蜘蛛标本 3503 头,用于统计分析的成蛛 1438 头,归属于 30 科 82 种。

由物种累积曲线可知,本次调查中蜘蛛采样基本充分。蜘蛛的物种数随采样次数的增加而呈递增趋势,但具体到各个样岛又有所区别,大部分岛屿蜘蛛的物种数均呈现较为平缓的上升趋势。

目前蜘蛛的相关研究表明群落的结构组成、种群的数量变动与环境因子的关系密切^[38-40]。2002 年于晓东等^[41]对东灵山地区地表甲虫的研究,指出植被类型和人为干扰程度是决定该地区物种分布和数量组成的关键因素。本研究所选取的样岛形成时间短,面积尺度小,岛屿集中,植被类型较相近,几乎均为马尾松,生境

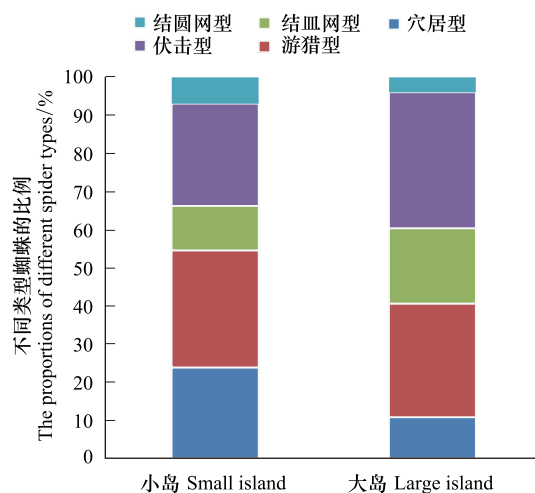


图 7 千岛湖不同类型区域蜘蛛功能群比例

Fig.7 Proportion of various spider guilds across different type of sampling islands in Thousand-Island Lake region

较一致^[42-43],而 Tsai 等^[44]2006 年曾报道在亚洲热带岛屿,对天然林、耕作林地、次生林和草地中蜘蛛多样性比较的研究,结果表明严重受干扰的耕作林地中蜘蛛多样性比其他生境高。因而,人为干扰少时,蜘蛛群落的个体数量很容易受到环境变化的影响,更利于各类群蜘蛛栖息^[45]。

在物种的组成上,螳螂科(*Ctenizidae* sp. 2)在 16 个岛屿上均有分布,16 个样岛的植被类型均为马尾松林。优势种为六眼幽灵蛛属(*Spermophora* sp. 1)、管巢蛛科(*Clubionidae* sp. 2)、螳螂科(*Ctenizidae* sp. 2)、蟹蛛科(*Thomisidae* sp. 3),说明这四种蜘蛛更适应人为干扰少的环境,这与郑国等研究指出的幽灵蛛科更喜欢生境复杂,人为干扰较少的环境^[46]相符合。而采用巴氏陷阱法采集的千岛湖 31 个样岛所获得的蜘蛛的优势种分别为狼蛛科、平腹蛛科、光盔蛛科、蟹蛛科和异纺蛛科^[47]。差异的产生除受气候和环境等因素影响外,采集方法的不同可能也是一个重要原因^[46]。PCA 分析表明,部分岛屿(I63、I58、I74、I75、B7)在图中分布较散,物种组成相似性较低,其余岛屿分布较为密集,但并未重合,说明相似性较高但已有区别。

本次调查中中大岛与小岛间的 α 多样性无显著差异。蜘蛛的功能群结构分析显示,穴居型的螳螂科、游猎型的管巢蛛科、结皿网型的六眼幽灵蛛属、伏击型的蟹蛛科为优势种。其中伏击型蜘蛛的多度最高,其次为游猎型蜘蛛,结圆网型蜘蛛多度最低,穴居型蜘蛛与其他各功能群呈显著差异;游猎型蜘蛛与伏击型蜘蛛的多度均显著高于结皿网型蜘蛛与结圆网型蜘蛛;结皿网型蜘蛛和伏击型蜘蛛在小岛上占功能群总体数目的比例显著低于大岛上的比例,小岛上的游猎型蜘蛛占功能群总体数目的比例显著高于大岛上的比例;伏击型蜘蛛的物种数在小岛与大岛间存在显著差异($P < 0.05$)。伏击型蜘蛛物种丰富度存在显著差异的可能原因是天然林落叶层较厚,适合于伏击性蜘蛛躲避和捕食^[48]。在 2007 年喻国辉等^[49]对 2 种不同采样方法对麦田蜘蛛群落结构的比较研究,结果显示相同年份不同采样方法获得的蜘蛛群落组成不同,如陷阱法主要采集地表游猎型蜘蛛、地面穴居型蜘蛛和少数伏击性蜘蛛,单位面积法主要采集落叶层结微网型蜘蛛和少数地表游猎型蜘蛛、地面穴居型蜘蛛,扫网法主要采集冠层蜘蛛和灌木层结网型蜘蛛等^[48]。

蜘蛛群落对季节性降雨和气温变化较敏感^[50-51]。这是由于不同的蜘蛛对温湿度喜好不同,而能改变小生境的气候因子对蜘蛛群落影响较大^[52-53]。Wagner 等^[54]还认为蜘蛛的季节性变化可能与春秋两季蜘蛛的行为和繁殖特性不同有关。本研究中,Shannon-Wiener 指数在不同季节间差异显著,秋季物种丰富度最高,反映了季节性降雨和气温变化对它的深刻影响。因而,生境片段化对蜘蛛功能群的分布产生了一定影响。

综上所述,千岛湖库区的生境片段化对蜘蛛的物种及功能群组成都已经产生了一定的影响,蜘蛛的部分功能群在小岛与大岛间表现出显著差异,Shannon-Wiener 指数在不同季节间差异显著,秋季物种丰富度最高。

致谢:浙江省淳安县新安江开发总公司和淳安县林业局为野外调查提供帮助,黄杰灵师兄、谢央央等同学进行的野外采样以及谢央央同学进行的物种的分类与鉴定,浙江大学千岛湖科学研究基地为野外调查提供帮助,在此一并致以衷心的感谢!

参考文献 (References):

- [1] Collinge S K. Ecology of Fragmented Landscapes. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2009.
- [2] 罗媛媛, 刘金亮, 黄杰灵, 白梅竹. 千岛湖陆桥岛屿上黑腹狼蛛(*Lycosa coelestris*)遗传多样性及其受生境片段化的影响. 科学通报, 2014, 59(19): 1851-1860.
- [3] 刘建锋, 肖文发, 江泽平, 冯霞, 李秀英. 景观破碎化对生物多样性的影响. 林业科学研究, 2005, 18(2): 222-226.
- [4] Gibbs J P. Demography versus habitat fragmentation as determinants of genetic variation in wild populations. Biological Conservation, 2001, 100(1): 15-20.
- [5] Sui X Q, Wang K, Zheng S H, Li L, An S Z. Effects of landscape fragmentation on genetic diversity of *Stipa krylovii* Roshev (*Stipa* L.) in agro-pastoral ecotone in Northern China. African Journal of Biotechnology, 2009, 8(15): 3431-3439.
- [6] 申效诚, 张保石, 张锋, 刘新涛. 世界蜘蛛的分布格局及其多元相似性聚类分析. 生态学报, 2013, 33(21): 6795-6802.
- [7] Nyffeler M. Ecological impact of spider predation: a critical assessment of Bristowe's and Turnbull's estimates. Bulletin of the British Arachnological Society, 2000, 11(9): 367-373.

- [8] Riechert S E, Bishop L. Prey control by an assemblage of generalist predators: spiders in garden test systems. *Ecology*, 1990, 71(4): 1441-1450.
- [9] Hore U, Uniyal V P. Diversity and composition of spider assemblages in five vegetation types of the Terai Conservation Area, India. *Journal of Arachnology*, 2008, 36(2): 251-258.
- [10] Oxbrough A G, Gittings T, O'Halloran J, Giller P S, Smith G F. Structural indicators of spider communities across the forest plantation cycle. *Forest Ecology and Management*, 2005, 212(1/3): 171-183.
- [11] Wise D H. Wandering spiders limit densities of a major microbi-detritivore in the forest-floor food web. *Pedobiologia*, 2004, 48(2): 181-188.
- [12] Bultman T L, Uetz G W. Abundance and community structure of forest floor spiders following litter manipulation. *Oecologia*, 1982, 55(1): 34-41.
- [13] Marc P, Canard A. Maintaining spider biodiversity in agroecosystems as a tool in pest control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1997, 62(2/3): 229-235.
- [14] Marc P, Canard A, Ysnel F. Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1999, 74(1/3): 229-273.
- [15] Churchill T B. Spiders as ecological indicators in the Australian tropics: family distribution patterns along rainfall and grazing gradients// *Proceedings of the 17th European Colloquium of Arachnology*. Edinburgh: British Arachnological Society, 1998.
- [16] 吴初平, 张骏, 沈爱华, 朱锦茹, 袁位高, 江波. 千岛湖次生林不同演替阶段林分空间结构研究. *植物研究*, 2015, 35(1): 16-21.
- [17] Wilson M C, Chen X Y, Corlett R T, Didham R K, Ding P, Holt R D, Holyoak M, Hu G, Hughes A C, Jiang L, Laurance W F, Liu J J, Pimm S L, Robinson S K, Russo S E, Si X F, Wilcove D S, Wu J G, Yu M J. Habitat fragmentation and biodiversity conservation: key findings and future challenges. *Landscape Ecology*, 2016, 31(2): 229-230.
- [18] 骆杨青, 余梅生, 余晶晶, 郑诗璐, 刘佳佳, 于明坚. 千岛湖地区常见木本植物性状和相对多度对幼苗植食作用的影响. *植物生态学报*, 2017, 41(10): 1033-1040.
- [19] Jin Y, Russo S E, Yu M J. Effects of light and topography on regeneration and coexistence of evergreen and deciduous tree species in a Chinese subtropical forest. *Journal of Ecology*, 2018, 106(4): 1634-1645.
- [20] 张竞成, 王彦平, 蒋萍萍, 李鹏, 于明坚, 丁平. 千岛湖雀形目鸟类群落嵌套结构分析. *生物多样性*, 2008, 16(4): 321-331.
- [21] Wu L B, Si X F, Didham R K, Ge D P, Ding P. Dispersal modality determines the relative partitioning of beta diversity in spider assemblages on subtropical land-bridge islands. *Journal of Biogeography*, 2017, 44(9): 2121-2131.
- [22] 任丽君, 徐志宏, 卢剑波, 赵改, 张群. 千岛湖岛屿特征与节肢动物多样性的关系. *应用生态学报*, 2009, 20(9): 2255-2261.
- [23] 周文婕, 罗媛媛, 仲磊, 潘林. 生境片段化对千岛湖地表甲虫物种多样性的影响. *应用生态学报*, 2017, 28(2): 509-518.
- [24] Terborgh J, Lopez L, Nuñez P, Rao M, Shahabuddin G, Orihuela G, Riveros M, Ascanio R, Adler G H, Lambert T D, Balbas L. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science*, 2001, 294(5548): 1923-1926.
- [25] Didham R. Overview of invertebrate responses to forest fragmentation//Watt A D, Stork N E, Hunter M D, eds. *Forests and Insects*. London: Chapman and Hall, 1997.
- [26] Fisher B L. A model for a global inventory of ants: a case study in Madagascar. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 2005, 56(S1): 86-97.
- [27] Baars M A. Catches in pitfall traps in relation to mean densities of carabid beetles. *Oecologia*, 1979, 41(1): 25-46.
- [28] Donegan K K, Seidler R J, Fieland V J, Schaller D L, Palm C J, Ganio L M, Cardwell D M, Steinberger Y. Decomposition of genetically engineered tobacco under field conditions: persistence of the proteinase inhibitor I product and effects on soil microbial respiration and protozoa, nematode and microarthropod populations. *Journal of Applied Ecology*, 1997, 34(3): 767-777.
- [29] Perry W B, Christiansen T A, Perry S A. Response of soil and leaf litter microarthropods to forest application of diflubenzuron. *Ecotoxicology*, 1997, 6(2): 87-99.
- [30] 尹文英. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000.
- [31] 冯钟琪. 中国蜘蛛原色图鉴. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1990.
- [32] Höfer H, Brescovit A D. Species and guild structure of a Neotropical spider assemblage (Araneae) from Reserva Ducke, Amazonas, Brazil. *Andrias*, 2001, 15: 99-119.
- [33] Sørensen L L. Stratification of the spider fauna in a Tanzanian forest//Basset Y, Novotný V, Miller S E, Kitching R L, eds. *Arthropods of Tropical Forests: Spatio-Temporal Dynamics and Resource Use in the Canopy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [34] 王巍巍. 宁夏白芨滩国家级自然保护区地表甲虫多样性及其边缘效应研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2013.
- [35] 吴坤君, 龚佩瑜, 盛承发. 昆虫多样性参数的测定和表达. *昆虫知识*, 2005, 42(3): 338-340.
- [36] 李巧, 陈又清, 徐正会. 蚂蚁群落研究方法[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(9): 1862-1870.
- [37] Oksanen J, Blanchet F G, Kindt R, et al. *Vegan: community ecology package: ordination, diversity and dissimilarities*[J]. 2011.
- [38] 王海香, 王慧, 李登科, 王有年, 师光禄. 枣园蜘蛛群落结构特征的研究. *北京农学院学报*, 2009, 24(3): 5-9.

- [39] 李代芹, 赵敬钊. 棉田蜘蛛群落及其多样性研究. 生态学报, 1993, 13(3): 205-213.
- [40] Uetz G W. Habitat structure and spider foraging//Bell S S, McCoy E D, Mushinsky H R, eds. Habitat Structure. Dordrecht: Springer, 1991: 325-348.
- [41] 于晓东, 罗天宏, 周红章. 东灵山地区地表甲虫群落组成及季节变化. 昆虫学报, 2002, 45(6): 785-793.
- [42] 潘林. 千岛湖片段化生境中地表甲虫类多样性的研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2015.
- [43] Wang Y P, Bao Y X, Yu M J, Xu G F, Ding P. BIODIVERSITY RESEARCH: nestedness for different reasons: the distributions of birds, lizards and small mammals on islands of an inundated lake. Diversity and Distributions, 2010, 16(5): 862-873.
- [44] Tsai Z L, Huang P S, Tso I M. Habitat management by aboriginals promotes high spider diversity on an Asian tropical island. Ecography, 2006, 29(1): 84-94.
- [45] 刘长海, 曹文文, 段秋艳, 苑彩霞, 陈宗礼. 延川不同类型枣园蜘蛛群落多样性研究. 河北林果研究, 2017, 32(1): 57-60.
- [46] 郑国, 杨效东, 李枢强. 西双版纳地区六种林型地表蜘蛛多样性比较研究. 昆虫学报, 2009, 52(8): 875-884.
- [47] 葛大鹏. 千岛湖片段化栖息地中地栖蜘蛛多样性与嵌套分布格局及其影响机制[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [48] 任海庆, 陈建, 袁兴中, 刘杰. 海南天然林与橡胶林蜘蛛多样性比较. 生态学报, 2016, 36(6): 1774-1781.
- [49] 喻国辉, 陈建, 陈文华, 陈燕红. 2 种不同采样方法对麦田蜘蛛群落结构的比较研究. 蛛形学报, 2007, 16(1): 21-26.
- [50] Russell-Smith A. A comparison of the diversity and composition of ground-active spiders in mkomazi game reserve, tanzania and etosha national park, namibia. Journal of Arachnology, 2002, 30(2): 383-388.
- [51] Sudhikumar A V, Mathew M J, Sunish E, Sebastian P A. Seasonal variation in spider abundance in Kuttanad rice agroecosystem, Kerala, India (Araneae). Acta Zoologica Bulgarica, 2005, (S1): 181-190.
- [52] 宋大祥, 朱明生, 陈军. 河北动物志: 蜘蛛类. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2001.
- [53] Kato M, Inoue T, Hamid A A, Nagamitsu T, Merdek M B, Nona A R, Itino T, Yamane S, Yumoto T. Seasonality and vertical structure of light-attracted insect communities in a dipterocarp forest in Sarawak. Researches on Population Ecology, 1995, 37(1): 59-79.
- [54] Wagner J D, Toft S, Wise D H. Spatial stratification in litter depth by forest-floor spiders. Journal of Arachnology, 2003, 31(1): 28-39.

附表:

附表 蜘蛛物种组成和多度

Attached table Species composition and abundance of spiders

	种名 Species name	总多度	出现的岛屿数	相对多度
		Total abundance	Number of islands presented	Relative abundance /%
漏斗蛛科 Agelenidae	<i>Agelenidae</i> sp. 1	8	6	0.56
近管蛛科 Anyphaonidae	<i>Anyphaonidae</i> sp. 1	41	12	2.85
	<i>Anyphaonidae</i> sp. 2	9	6	0.63
园蛛科 Araneidae	<i>Araneidae</i> sp. 1	2	1	0.14
	<i>Araneidae</i> sp. 2	7	4	0.49
	<i>Araneidae</i> sp. 3	1	1	0.07
地蛛科 Atypidae	<i>Atypus</i> sp. 1	9	4	0.63
	<i>Atypus</i> sp. 2	7	5	0.49
管巢蛛科 Clubionidae	<i>Clubionidae</i> sp. 1	50	15	3.48
	<i>Clubionidae</i> sp. 2	95	14	6.61
栎足蛛科 Ctenidae	<i>Ctenidae</i> sp. 1	37	13	2.57
螳螂科 Ctenizidae	<i>Ctenizidae</i> sp. 1	57	14	3.96
	<i>Ctenizidae</i> sp. 2	84	16	5.84
	<i>Ctenizida</i> sp. 3	34	12	2.36
	<i>Ctenizidae</i> sp. 4	31	10	2.16
卷叶蛛科 Dictynidae	<i>Dictynidae</i> sp. 1	5	2	0.35
	<i>Dictynidae</i> sp. 2	1	1	0.07
	<i>Dictynidae</i> sp. 3	1	1	0.07
平腹蛛科 Gnaphosidae	<i>Gnaphosidae</i> sp. 1	21	8	1.46
	<i>Gnaphosidae</i> sp. 2	26	13	1.81

续表

	种名 Species name	总多度 Total abundance	出现的岛屿数 Number of islands presented	相对多度 Relative abundance /%
	<i>Gnaphosidae</i> sp. 3	35	10	2.43
	<i>Gnaphosidae</i> sp. 4	12	6	0.83
栅蛛科 Hahniidae	<i>Hahniidae</i> sp. 1	53	12	3.69
	<i>Hahniidae</i> sp. 2	5	4	0.35
节板蛛科 Liphistiidae	<i>Heptathela</i> sp. 1	4	3	0.28
	<i>Heptathela</i> sp. 2	29	11	2.02
弱蛛科 Leptonetidae	<i>Leptoneta</i> sp. 1	1	1	0.07
	<i>Leptoneta</i> sp. 2	1	1	0.07
	<i>Leptoneta</i> sp. 3	1	1	0.07
	<i>Leptoneta</i> sp. 4	2	1	0.14
皿蛛科 Linyphiidae	<i>Linyphiidae</i> sp. 1	7	3	0.49
	<i>Linyphiidae</i> sp. 2	3	2	0.21
光盔蛛科 Liocranidae	<i>Liocranidae</i> sp. 1	9	7	0.63
	<i>Liocranidae</i> sp. 2	10	4	0.7
狼蛛科 Lycosidae	<i>Lycosidae</i> sp. 1	7	5	0.49
大疣蛛属 Macrothele	<i>Macrothele</i> sp. 1	1	1	0.07
卵形蛛科 Oonopidae	<i>Oonopidae</i> sp. 1	4	4	0.28
	<i>Oonopidae</i> sp. 2	3	3	0.21
	<i>Oonopidae</i> sp. 3	12	6	0.83
	<i>Oonopidae</i> sp. 4	10	5	0.7
	<i>Oonopidae</i> sp. 5	19	11	1.32
猫蛛科 Oxyopidae	<i>Oxyopidae</i> sp. 1	1	1	0.07
逍遥蛛科 Philodromidae	<i>Philodromidae</i> sp. 1	37	12	2.57
	<i>Philodromidae</i> sp. 2	5	4	0.35
	<i>Philodromidae</i> sp. 3	12	6	0.83
	<i>Philodromidae</i> sp. 4	33	13	2.29
	<i>Philodromidae</i> sp. 5	8	5	0.56
	<i>Philodromidae</i> sp. 6	52	15	3.62
幽灵蛛科 Pholcidae	<i>Pholcidae</i> sp. 1	1	1	0.07
	<i>Pholcidae</i> sp. 2	3	3	0.21
盗蛛科 Pisauridae	<i>Pisauridae</i> sp. 1	2	2	0.14
跳蛛科 Salticidae	<i>Salticidae</i> sp. 1	50	15	3.48
	<i>Salticidae</i> sp. 2	8	6	0.56
	<i>Salticidae</i> sp. 3	5	4	0.35
	<i>Salticidae</i> sp. 4	36	13	2.5
	<i>Salticidae</i> sp. 5	1	1	0.07
类石蛛科 Segestriidae	<i>Segestriidae</i> sp. 1	2	2	0.14
	<i>Segestriidae</i> sp. 2	2	2	0.14
巨蟹蛛科 Sparassidae	<i>Sparassidae</i> sp. 1	9	5	0.63
	<i>Sparassidae</i> sp. 2	11	9	0.76
	<i>Sparassidae</i> sp. 3	29	14	2.02
	<i>Sparassidae</i> sp. 4	1	1	0.07
	<i>Sparassidae</i> sp. 5	12	3	0.83
	<i>Sparassidae</i> sp. 6	30	14	2.09
	<i>Sparassidae</i> sp. 7	6	4	0.42
六眼幽灵蛛属 <i>Spermophora</i>	<i>Spermophora</i> sp. 1	106	14	7.37

续表

	种名 Species name	总多度 Total abundance	出现的岛屿数 Number of islands presented	相对多度 Relative abundance /%
	<i>Spermophora</i> sp. 2	4	4	0.28
	<i>Spermophora</i> sp. 3	64	12	4.45
	<i>Spermophora</i> sp. 4	4	2	0.28
	<i>Spermophora</i> sp. 5	18	7	1.25
	<i>Spermophora</i> sp. 6	1	1	0.07
球体蛛科 Theridiosomatidae	<i>Theridiosomatidae</i> sp. 1	2	2	0.14
蟹蛛科 Thomisidae	<i>Thomisidae</i> sp. 1	30	12	2.09
	<i>Thomisidae</i> sp. 2	2	2	0.14
	<i>Thomisidae</i> sp. 3	76	12	5.29
	<i>Thomisidae</i> sp. 4	1	1	0.07
	<i>Thomisidae</i> sp. 5	1	1	0.07
	<i>Thomisidae</i> sp. 6	1	1	0.07
拟平腹蛛科 Zodariidae	<i>Zodariidae</i> sp. 1	1	1	0.07
	<i>Zodariidae</i> sp. 2	1	1	0.07
佐蛛科 Zoridae	<i>Zoridae</i> sp. 1	15	8	1.04
逸蛛科 Zoropsidae	<i>Zoropsidae</i> sp. 1	1	1	0.07