

互花米草入侵九段沙河口湿地对当地昆虫多样性的影响

高 慧 彭筱蕤 李 博 吴千红 董慧琴*

(生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 复旦大学生物多样性科学研究所, 上海 200433)

摘要: 为认识因互花米草(*Spartina alterniflora*)入侵而给九段沙河口湿地昆虫多样性带来的影响, 我们于2004年5月到2005年10月间用网捕和收割植株两种方法对3个典型植物群落中昆虫多样性作了连续调查。研究期间, 共采集到昆虫11,300头。经鉴定为97个种, 隶属于12目69科。互花米草群落中昆虫的物种数、个体数量以及Shannon-Wiener多样性指数均显著低于土著植物芦苇(*Phragmites australis*)群落和海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)群落中的; 而Simpson优势度指数较土著植物群落中高。聚类分析结果表明: 芦苇与海三棱藨草群落中昆虫群落结构更为相似。互花米草的入侵将可能导致九段沙湿地昆虫多样性的降低和群落结构的改变。

关键词: 多样性, 九段沙, 昆虫, 植物入侵, 互花米草

Effects of the invasive plant *Spartina alterniflora* on insect diversity in Jiuduansha wetlands in the Yangtze River Estuary

Hui Gao, Xiaowei Peng, Bo Li, Qianhong Wu, Huiqin Dong*

Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai 200433

Abstract: In order to examine the effects of the invasive plant *Spartina alterniflora* on insect diversity in Jiuduansha wetlands in the Yangtze River Estuary, we surveyed insects in monoculture stands of three species by net-sweeping and plant-harvesting methods from May 2004 to October 2005. A total of 11,300 insects were collected, belonging to 12 orders, 69 families and 97 species. We found that species number and Shannon-Wiener index of the insect community in *Spartina alterniflora* monoculture were significantly lower than those in the two native monocultures (*Phragmites australis* and *Scirpus mariqueter*). However, Simpson's dominance index was higher in *Spartina alterniflora* monoculture. Cluster analysis indicated that, for both survey methods, the similarity of insect communities between *Phragmites australis* and *Scirpus mariqueter* was higher than that between *Spartina alterniflora* and the two native communities. We conclude that invasions of *Spartina alterniflora* might lead to reduction of insect diversity and alteration of insect community structure in Jiuduansha wetlands.

Key words: diversity, Jiuduansha wetlands, insect community, plant invasion, *Spartina alterniflora*

生物入侵是指当非土著种进入一个过去不曾分布的地区, 并能存活和繁殖, 形成野化种群, 其种群的进一步扩张已经或将要造成明显的环境和经济后果的过程(李博和陈家宽, 2002)。作为全球环境变化重要因素之一的生物入侵已经得到越来越

广泛的关注, 其中的一个研究热点是入侵对本地群落生物多样性的影响(Sofia & Lena, 2004)。除生境的破坏和破碎化外, 生物入侵是使生物多样性丧失的另一个主导因素(徐汝梅和叶万辉, 2003)。目前越来越多的学者致力于这方面的研究(Kareiva,

收稿日期: 2006-04-26; 接受日期: 2006-07-05

基金项目: 上海科委重大项目(04DZ19301 和 04DZ19304)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: hqdong@fudan.edu.cn

1996; Bakker & Wilson, 2001; Angelica & Tom, 2003; Gorchov & Trisel, 2003; Sofia & Lena, 2004), 但其中针对植物入侵后对昆虫多样性影响的研究甚少。

昆虫和植物之间的关系密切(Tallamy, 2004), 例如, 很多昆虫取食植物的花粉、汁和蜜等, 为自身生长、繁衍和运动提供能量(Jones, 1974; Petersson & Hasselrot, 1994)。由于大多数昆虫与其所利用的植物有协同进化的历史(Strong *et al.*, 1984; 张红玉, 2005), 因此植物群落结构改变可能会对昆虫多样性产生影响。当外来植物入侵并取代本地植物时, 由于本地昆虫与外来植物几乎没有协同进化过程, 因而在一定时间内无法很好地利用外来植物(Erlich & Raven, 1965), 因此会遭受明显影响。有关外来植物与本地昆虫之间的研究主要集中于探讨昆虫对植物的影响(Keane & Crawley, 2002), 而植物对昆虫的影响却很少研究(Tallamy, 2004)。

为认识因生物入侵后导致的植物群落结构改变对昆虫多样性的影响以及由此产生的其他生态后果, 我们从2004年5月至2005年10月在长江口九段沙湿地对不同植物群落中的昆虫群落进行了研究。我们的研究集中于比较入侵种互花米草(*Spartina alterniflora*)群落与土著种芦苇(*Phragmites australis*)群落和海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)群落中昆虫群落的组成、多度和物种多样性的差异, 以期认识植物入侵的生态系统后果, 并为湿地生物多样性的保护提供参考。

1 研究方法

1.1 研究地点

九段沙是长江口典型的近海沙洲湿地, 是继崇明岛、长兴岛和横沙岛之后又一新生的成陆冲积沙洲(朱晓君和陆健健, 2003)。地理位置为东经121°46′–122°15′, 北纬31°03′–31°17′; 东西长约46.3 km, 南北宽约25.9 km(陈家宽等, 2003)。九段沙受东亚季风影响, 四季分明; 最高月平均气温为27.8℃(7月), 最低月平均气温为3.5℃(1月)。年平均降水量约1,100 mm, 其中雨季(5–9月)的降雨量占全年降水量的60%左右。夏季盛行东南风, 冬季多西北风, 年均风速为3.1 m/s, 最大风速为30.0 m/s。年平均日照长度2,100 h, 年太阳辐射总量约472.9

kJ/cm², 年平均无霜期245 d(李道季等, 1997)。

该湿地自1997年引进互花米草以来, 8年内互花米草迅速扩散, 一些区域已经完全郁闭, 形成单物种群落(monoculture), 并对土著物种芦苇和海三棱藨草产生了强烈的竞争影响。

九段沙分为上沙、中沙和下沙3个沙洲, 植物群落物种组成和结构简单, 仅由7科15属17种组成, 且均为草本植物。其中, 芦苇、互花米草和海三棱藨草在九段沙的分布面积最大, 其他物种的分布面积很小, 可以忽略不计(陈家宽等, 2003)。典型的芦苇群落主要分布于上沙, 而典型的互花米草群落和海三棱藨草群落在中沙和下沙都有分布。经调查发现, 在中沙和下沙分布的互花米草群落和海三棱藨草群落基本相同。由于我们的研究仅需要选取各植物类群的典型群落, 因此仅在上沙和中沙设置采样点。在上沙选取了芦苇的典型群落, 在中沙选取了互花米草的典型群落和海三棱藨草的典型群落, 每个群落选取长度约为1 km的样线, 并在每条样线上取5个1 m×1 m的样方作为取样点(图1)。

1.2 样本采集

九段沙河口湿地采样环境恶劣, 并且常受潮水侵扰, 为确保采样的可行性, 我们采用网捕法(Luckett & Gray, 1966)和植株收割法(Teja, 1999)采集昆虫。

网捕法: 采用随机网捕的方式采集空中飞行的昆虫。在每个样方周围以5 m为半径的圆内随机捕50网, 将捕得的昆虫放入装有75%酒精的瓶内保存。

植株收割法: 在芦苇群落和互花米草群落中的各样方内随机割10株植株, 将地上部分全部收集起来, 迅速装入塑料自封袋中; 海三棱藨草因植株矮小密度大, 可将25 cm×25 cm范围内的植株全部收集起来。回实验室后对叶鞘内的昆虫进行剥离和分拣, 并将这些昆虫固定在75%的酒精中。在统计时, 根据样方内植株密度将所取植株内昆虫数目还原为一个样方内的昆虫数目来计算; 海三棱藨草群落中的昆虫数目则以所获数目的16倍来计算。

从2004年5月至2005年10月间, 按不同季节进行采样。时间分别为: 春季3月和5月; 夏季6月和8月; 秋季9月和10月; 冬季11月和1月。每月采样一次。采样时间均为上午8:00–10:00和下午

15:00–18:00。

由于昆虫鉴定存在一定难度, 因此我们仅鉴定

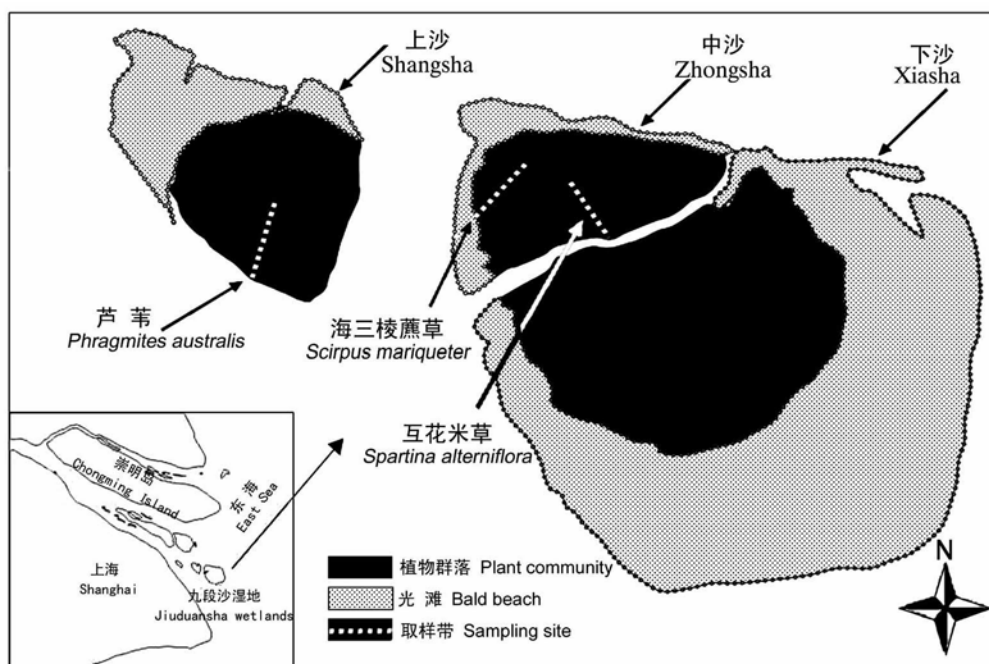


图1 九段沙河口湿地采样点分布

Fig. 1 Sampling sites in Jiuduansha wetlands, the Yangtze River Estuary

到科的水平, 并记录各科的种数。样本的鉴定主要依据《昆虫形态分类学》(忻介六等, 1985)、《幼虫分类学》(钟觉民, 1990)、《中国经济昆虫志》(中国科学院中国动物志编辑委员会, 1994)、《昆虫分类》(郑乐怡和归鸿, 1999)、《天目山昆虫》(吴鸿和潘承文, 2001)和《中国动物志·昆虫纲》(中国科学院中国动物志编辑委员会, 2003), 最后交由专家确定。

1.3 数据处理和统计

采用Shannon-Wiener多样性指数, Simpson优势度指数和Pielou均匀度指数进行数据处理和结果分析(Pielou, 1975; 马克平和刘玉明, 1994; 马克平, 1994)。

Shannon-Wiener多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

Simpson优势度指数:

$$C = \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (2)$$

Pielou均匀度指数:

$$J = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (3)$$

式中, S 为一个取样中总物种数, P_i 为种 i 的个体数占总个体数的比例。

在本研究中, 我们定义相对多度大于10%的科为优势类群, 并对各昆虫群落多样性指数进行二因子方差分析, 所用的统计软件为STATISTICA 6.0(StatSoft, Inc. 2300 East 14th Tulsa, OK 74104)。此外, 还使用聚类分析方法探讨3个典型植物群落中昆虫群落结构的相似性关系(葛宝明等, 2005)。为了使原始数据服从正态分布, 在分析之前对其进行对数 $[\log_{10}(x+1)]$ 转换。采用平均值联接方式即group average; 相似性系数采用Bray-Curtis similarity。聚类分析由软件PRIMER 5完成(Clarke & Warwick, 2001)。

2 结果与分析

2.1 不同植物群落中昆虫的物种组成

在九段沙3个典型植物群落中通过网捕法和植株收割法共获取昆虫11,300头, 经鉴定为97个种, 隶属于12目69科。结果显示, 入侵种互花米草群落中昆虫的物种数和个体数显著低于两个土著植物群落(表1); 并且优势类群也发生了很大变化(附录I)。互花米草群落中出现的优势类群为双翅目昆虫; 而芦苇群落和海三棱藨草群落中的优势类群包括半翅目、同翅目、鞘翅目、啮虫目、膜翅目和缨翅目昆虫(附录I)。

2.2 不同植物群落中昆虫多样性特征

2.2.1 昆虫多样性的差异

无论采用网捕法还是植株收割法, 互花米草群落中昆虫群落的Shannon-Wiener多样性指数都最低, 芦苇群落中的最高($P<0.01$); 而Simpson优势度指数的结果与之相反。

互花米草群落中昆虫群落的Pielou均匀度指数在各月份之间变化不大, 且网捕法所得的均匀度指数略高于另两个群落(图2, 表2)。这是因为在芦苇和海三棱藨草群落中都存在占显著优势的类群(附录I), 因此, 尽管这两个群落的昆虫种类和数量都远大于互花米草, 但是均匀度仍然比较低。网捕法所得芦苇群落和海三棱藨草群落中昆虫群落的Pielou均匀度指数无显著差异。

2.2.2 不同植物群落中昆虫多样性的季节动态

在3种植物群落中经网捕法所得的昆虫群落的Shannon-Wiener多样性指数都是在6月或8月即夏季最高, 1月或3月即冬末春初最低, 且呈现出季节以及季节和采样群落交互作用的显著性差异($P<0.01$); 而Simpson优势度指数的结果与之相反, 即3月及6

月最低, 1月最高。

在芦苇群落中经植株收割法所得的昆虫群落的Shannon-Wiener多样性指数在9月或10月即秋季最高, 11月即冬初最低; 而在互花米草群落中对昆虫群落的研究结果表明各月份差异不显著。3种植物群落呈现出季节以及季节和采样群落交互作用的显著性差异($P<0.01$)。Simpson优势度指数的结果与之相反, 且呈现出季节间的显著性差异($P<0.01$)(图2, 表2)。由于海三棱藨草植株矮小, 并且茎为实心, 不利于昆虫在其中活动, 因此仅5、6月和10月3个月份在其中发现昆虫。

2.3 不同植物群落中昆虫群落结构的相似性

对不同植物群落中昆虫群落组成进行聚类分析, 分析采用的昆虫群落组成是建立在物种的水平上, 采用的分析数据是各种昆虫的平均个体数。由图3显示, 无论采用网捕法还是植株收割法, 芦苇群落与海三棱藨草群落中昆虫群落结构的相似性都更高。

3 讨论

3.1 互花米草入侵与昆虫多样性的变化

经过对互花米草、芦苇和海三棱藨草3种植物群落中昆虫群落的比较发现, 互花米草群落中昆虫群落的物种数、个体数量以及Shannon-Wiener多样性指数显著降低, Simpson优势度指数有所提高, 而且昆虫群落结构也发生了明显变化。由此可以推断, 随着入侵种互花米草逐渐取代土著种芦苇和海三棱藨草, 将可能导致当地昆虫群落的物种多样性降低和昆虫群落结构改变。经分析, 互花米草入侵会给本地昆虫多样性带来影响的主要原因可能三个方面:

其一是大多数植食性昆虫都与其所食植物有

表1 三种植物群落中的昆虫种类组成
Table 1 Insect species composition in the three plant communities

植物群落 Plant community	网捕法 Net sweeping				植株收割法 Plant harvesting			
	目 Order	科 Family	种 Species	个体数 Individual	目 Order	科 Family	种 Species	个体数 Individual
芦苇 <i>Phragmites australis</i> community	9	47	65	1,151	8	15	20	4,925
互花米草 <i>Spartina alterniflora</i> community	11	28	30	184	8	11	11	1,090

海三棱藨草 <i>Scirpus mariqueter</i> community	9	36	47	1,101	7	6	6	2,848
----------------------------------------------	---	----	----	-------	---	---	---	-------

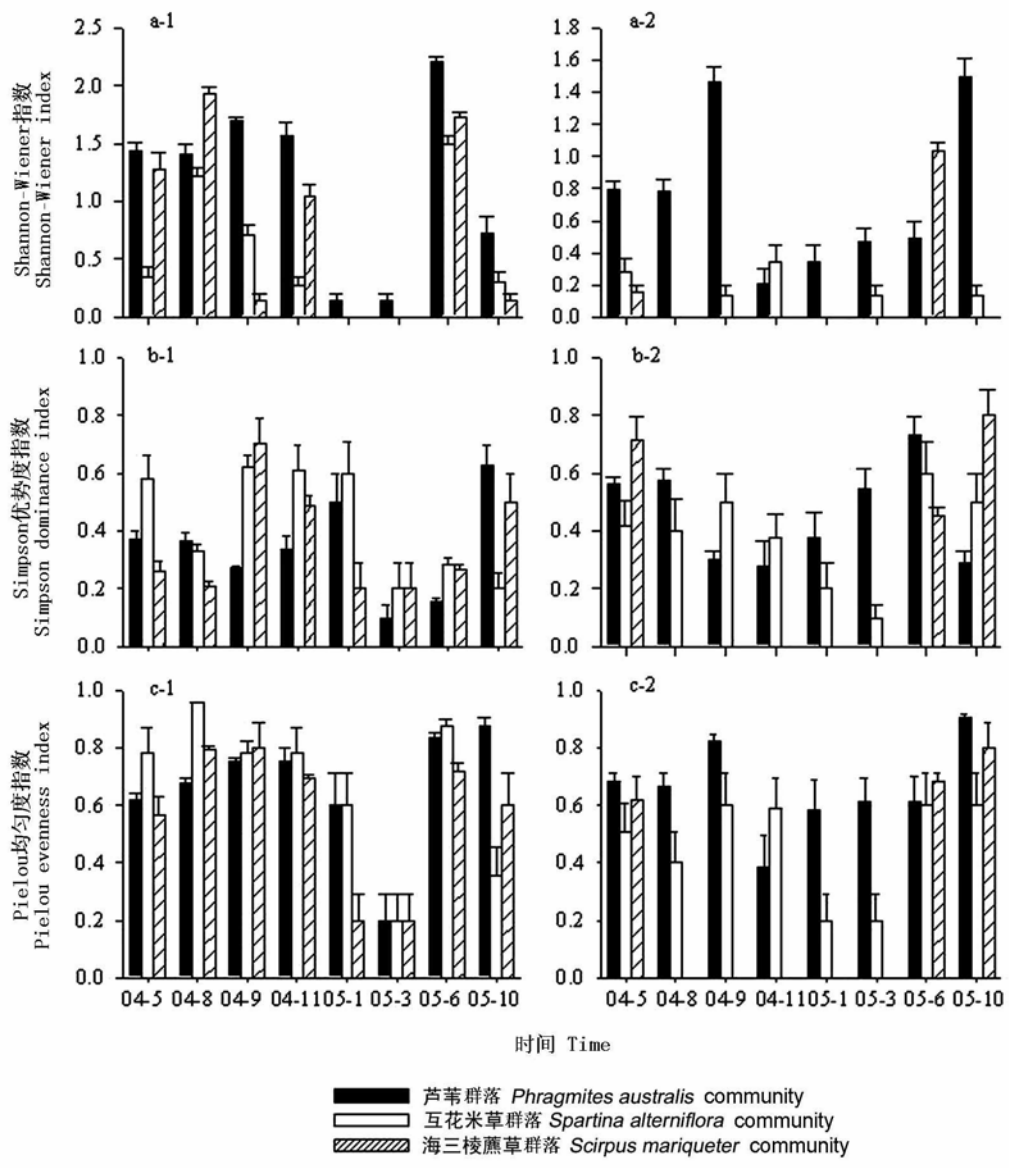


图2 三种植物群落中的昆虫多样性指数(1: 网捕法; 2: 植株收割法)
Fig. 2 Insect diversity indices in the three plant communities. 1, Net sweeping method; 2, Plant harvesting method

协同进化的过程。曾有研究指出,当昆虫与某类植物协同进化时也会降低其食用其他植物的能力(Erlich & Raven, 1965)。而在所有昆虫中,有90%以上是专食性的,即只食用某种食物或彼此有亲缘

关系的食物(Bernays & Graham, 1988)。互花米草是在1997年被引入九段沙河口湿地,由于入侵时间并不长,因此可能目前还无法让本地昆虫适应。

其二,互花米草是C₄植物,而芦苇和海三棱藨

草是C₃植物。Caswell曾提出一个假说,即相对C₄植物而言,植食性昆虫更加偏好于取食C₃植物(Caswell *et al.*, 1973)。因为C₄植物的维管束周围贮存着大量的淀粉,不利于植食性昆虫取食;而C₃植物中的淀粉几乎全都分布在叶肉内。另外,C₄植物

表2 昆虫多样性指数的二因子方差分析

Table 2 Results of two-way ANOVA of insect diversity indices

		SS	df	F	P
网捕法 Net sweeping					
Shannon-Wiener多样性指数	S	7.83	2, 12	16.65	<0.01
Shannon-Wiener diversity index	T	43.66	7, 84	45.38	<0.01
	S×T	9.87	14, 84	5.13	<0.01
Simpson优势度指数	S	0.178	2, 12	0.98	>0.05
Simpson's dominance index	T	1.674	7, 84	2.314	<0.05
	S×T	1.848	14, 84	1.276	>0.05
Pielou均匀度指数	S	0.234	2, 12	1.314	>0.05
Pielou evenness index	T	4.687	7, 84	5.487	<0.01
	S×T	1.397	14, 84	0.818	>0.05
植株收割法 Plant harvesting					
Shannon-Wiener多样性指数	S	10.13	2, 12	36.59	<0.01
Shannon-Wiener diversity index	T	3.17	7, 84	4.54	<0.01
	S×T	10.35	14, 84	7.42	<0.01
Simpson优势度指数	S	0.927	2, 12	4.346	<0.05
Simpson dominance index	T	3.076	7, 84	3.723	<0.01
	S×T	3.208	14, 84	1.941	<0.05
Pielou均匀度指数	S	3.159	2, 12	1.579	<0.01
Pielou evenness index	T	3.746	7, 84	0.535	<0.01
	S×T	2.892	14, 84	0.207	>0.05

S: 植物群落; T: 采样时间; S×T: 两者的交互作用
S, Plant communities; T, Sampling time; S×T, Interaction

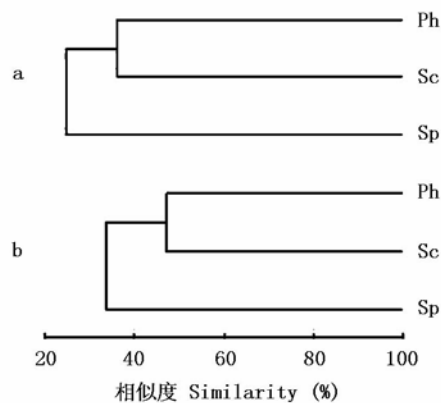


图3 三种植物群落中昆虫群落组成的聚类分析(a: 网捕法; b: 植株收割法; Ph: 芦苇; Sp: 互花米草; Sc: 海三棱藨草)
Fig. 3 Cluster analysis of insect communities associated with three plant communities. a, Net sweeping method; b, Plant harvesting method; Ph, *Phragmites australis*; Sp, *Spartina alterniflora*; Sc, *Scirpus mariqueter*.

叶子的含氮量较低,而且不能消化的木质素平均量却比C₃植物高两倍。因此,C₄植物的营养价值较低(Price, 1981)。

其三,昆虫在取食植物时对植物的矿物质也会有一定的要求。一些研究认为植食性昆虫的取食受到植物中盐分等矿物质的影响,盐分愈多,不利影响愈大(钦俊德, 1987)。互花米草具有很强的泌盐功能,且在叶片上分布着白色的盐斑(Judith & Peddrick, 2004),这可能也是导致它较少被取食的原因之一。

3.2 不同植物群落中昆虫群落的优势类群

无论采用网捕法还是植株收割法,在入侵种互花米草群落中出现的优势类群都为双翅目昆虫,许多双翅目昆虫的成虫以植物汁液和花蜜为食。在芦苇群落和海三棱藨草群落中的优势类群除双翅目外,还包括半翅目、同翅目、鞘翅目、啮虫目、膜翅目和缨翅目,它们食性的多样化程度较高,除了吸取植物汁液,还啃食植物茎叶(忻介六等, 1985),

因此可能对植物造成更大的危害。

尽管互花米草中的优势类群是双翅目,但是通过比较3种植物群落中网捕法获得的双翅目昆虫发现:互花米草中的双翅目昆虫物种数和个体数都相对较少,仅有13种,共111头;而在芦苇中则有24种,共94头;在海三棱藨草中也有24种,共419头。同时,互花米草中存在的13种双翅目昆虫除了窗蚊科之外,其他种类在芦苇或海三棱藨草中也都存在。而窗蚊科昆虫在互花米草的昆虫群落中仅占5%,为非优势类群。通过植株收割法获得的3种植物群落中的双翅目昆虫没有显著不同,都是幼虫和蛹占绝对优势。这可能是因为昆虫常产卵于植物茎秆中,且其幼体也常取食植物茎秆或选择植物茎秆作为栖息地(徐汝梅和成新跃,2005)。

3.3 其他生态后果

由昆虫群落组成可以看出(附录I),倘若由互花米草代替芦苇和海三棱藨草,膜翅目昆虫所受影响最大。膜翅目昆虫是最重要的传粉昆虫之一(钦俊德和王琛柱,2001),其数量减少可能会给依赖此类昆虫传粉的植物带来极大影响;互花米草是风媒植物,所以这样的结果将会更加有利于它的成功入侵,从而进一步降低本地昆虫的多样性。

在大多数群落的食物网中,昆虫占据着中间的、承上启下的位置。凭借它们的特殊地位,以及依据它们的巨大数量和生物量,昆虫支配着大多数的陆地生态系统和很多的淡水生态系统(徐汝梅和成新跃,2005)。Dickinson(1999)指出,96%的陆栖鸟类都是依靠昆虫蛋白质来抚养雏鸟,故它们对于食物的改变会表现得比较脆弱。所以,若互花米草取代芦苇和海三棱藨草,在当地昆虫群落物种多样性降低的同时可能会给栖息于九段沙的繁殖鸟类带来一定的影响。

致谢: 本文昆虫标本鉴定得到中科院植物生理生态研究所吴虹研究员的大力协助,全文写作过程中得到廖成章和金斌松同学的帮助,在此深表感谢。

参考文献

Angelica MH, Tom LD (2003) Reduction of riparian arthropod abundance and diversity as a consequence of giant reed (*Arundo donax*) invasion. *Biological Invasions*, **5**, 167–177.

Bakker J, Wilson S (2001) Competitive abilities of introduced and native grasses. *Plant Ecology*, **157**, 117–125.

Bernays EM, Graham M (1988) On the evolution of host specificity in phytophagous arthropods. *Ecology*, **69**, 886–892.

Caswell H, Reed F, Stephenson SN, Werner PA (1973) Photosynthetic pathways and selective herbivory: a hypothesis. *American Naturalist*, **107**, 465–480.

Chen JK (陈家宽), Ma ZJ (马志军), Li B (李博), Yuan JF (袁峻峰), Zhang Z (张政) (2003) *Comprehensive Surveys on Shanghai Jiuduansha Wetland Nature Reserve, the Yangtze River Estuary* (上海九段沙湿地自然保护区科学考察集). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Clarke KR, Warwick RM (2001) *Changes in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation*, 2nd edn. Primer-E, Plymouth.

Dickinson MB (1999) *Field Guide to the Birds of North America*, 3rd edn. National Geographic Society, Washington, DC.

Editorial Committee of Fauna Sinica, Chinese Academy of Sciences (中国科学院中国动物志编辑委员会) (1994) *Economic Insect Fauna of China* (中国经济昆虫志). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Editorial Committee of Fauna Sinica, Chinese Academy of Sciences (中国科学院中国动物志编辑委员会) (2003) *Fauna Sinica (Insecta)* (中国动物志·昆虫纲). Science Press, Beijing. (in Chinese)

Erhlich PR, Raven PH (1965) Butterflies and plants: a study in coevolution. *Evolution*, **19**, 586–608.

Ge BM (葛宝明), Cheng HY (程宏毅), Zheng X (郑祥), Kong JM (孔军苗), Bao YX (鲍毅新) (2005) Community structure and diversity of soil macrofauna from different urban greenbelts in Jinhua City, Zhejiang Province. *Biodiversity Science* (生物多样性), **13**, 197–203. (in Chinese with English abstract)

Gorchov DL, Trisel DE (2003) Competitive effects of the invasive shrub, *Lonicera maackii* (Rupr.) Herder (Caprifoliaceae), on the growth and survival of native tree seedlings. *Plant Ecology*, **166**, 13–24.

Jones NV (1974) The Trichoptera of a stony shore of a lake with particular reference to *Tinodes waeneri* (L.) (Psychomyidae). In: *Proceedings of the First International Symposium on Trichoptera* (ed. Malicky H), pp. 117–131. Dr W. Junk, The Hague.

Judith SW, Peddrick W (2004) Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Environment International*, **30**, 685–700.

Kareiva P (1996) Developing a predictive ecology for non-indigenous species and ecological invasions. *Ecology*, **88**, 1651–1652.

Keane RM, Crawley MJ (2002) Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. *Trends in Ecology & Evolution*, **17**, 164–170.

- Li B (李博), Chen JK (陈家宽) (2002) Ecology of biological invasions: achievements and challenges. *World Sci-Tech R & D* (世界科技研究与发展), **24**(2), 26–36. (in Chinese with English abstract)
- Li DJ (李道季), Chen JY (陈吉余), Lu JJ (陆健健) (1997) Comparison of the ecological environment between Pudong tidal flat and Jiuduansha, Shanghai. *Resources and Environment in Yangtze Valley*(长江流域资源与环境), **6**, 283–287. (in Chinese with English abstract)
- Luckett VD, Gray IE (1966) Zonal and seasonal distribution of insects in north Carolina salt marshes. *Ecological Monographs*, **36**, 275–295.
- Ma KP (马克平) (1994) The measurement of community diversity. In: *Principles and Methodologies of Biodiversity Studies* (生物多样性研究的原理与方法) (eds Qian YQ(钱迎倩), Ma KP(马克平)), pp.141–165. Chinese Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese)
- Ma KP (马克平), Liu YM (刘玉明) (1994) Measurement of biotic community diversity. I. α diversity (Part II). *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **2**, 231–239. (in Chinese)
- Petersson E, Hasselrot AT (1994) Mating and nectar feeding in the psychomyid caddisfly *Tinodes waeneri*. *Aquatic Insects*, **16**, 177–187.
- Pielou EC (1975) *Ecological Diversity*, pp.16–51. John Wiley, New York.
- Price PW (1981) *Insect Ecology* (昆虫生态学). People's Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Qin JD (钦俊德) (1987) *The Relation Between Insects and Plants*(昆虫与植物的关系). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Qin JD (钦俊德), Wang CZ (王琛柱) (2001) The relation of interaction between insects and plants to evolution. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), **44**, 360–365. (in Chinese with English abstract)
- Sofia AW, Lena K (2004) Invasion of a habitat-forming seaweed: effects on associated biota. *Biological Invasions*, **6**, 141–150.
- Strong DR, Lawton JH, Southwood R (1984) *Insects on Plants: Community Patterns and Mechanisms*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Tallamy DW (2004) Do alien plants reduce insect biomass? *Conservation Biology*, **18**, 1689–1692.
- Teja T (1999) Insects on common reed (*Phragmites australis*): community structure and the impact of herbivory on shoot growth. *Aquatic Botany*, **64**, 399–410.
- Wu H (吴鸿), Pan CW (潘承文) (2001) *Insects of Tianmushan National Nature Reserve* (天目山昆虫). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Xin JL (忻介六), Yang QS (杨庆爽), Hu CY (胡成业) (1985) *Insect Morphology Taxonomy* (昆虫形态分类学). Fudan University Press, Shanghai. (in Chinese)
- Xu RM (徐汝梅), Cheng XY (成新跃) (2005) *Insect Population Ecology: Foundation and Advances* (昆虫种群生态学: 基础与前沿). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Xu RM (徐汝梅), Ye WH (叶万辉) (2003) *Biological Invasions: Theory and Practice* (生物入侵: 理论与实践). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang HY (张红玉) (2005) Co-evolution of entomophilous plants and pollination insects (I)—effect of pollination insects on evolution of entomophilous plants. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology* (四川林业科技), **26**, 38–41. (in Chinese with English abstract)
- Zheng LY (郑乐怡), Gui H (归鸿) (1999) *Insect Taxonomy* (昆虫分类). Nanjing Normal University Press, Nanjing. (in Chinese)
- Zhong JM (钟觉民) (1990) *Taxonomy of Insect Larva* (幼虫分类学). Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhu XJ (朱晓君), Lu JJ (陆健健) (2003) Functional groups of zoobenthos in the intertidal zone of Jiuduansha, the Yangtze River estuary. *Zoological Research* (动物学研究), **24**, 355–361. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 戈峰 责任编辑: 闫文杰)

附录I 用不同方法获取的昆虫类群在三种植物群落中的相对多度
Appendix I Relative abundance of insect taxa in three plant communities by different methods

目和科 Order and family	种数 No. of species	A(%)			B(%)		
		Ph	Sp	Sc	Ph	Sp	Sc
半翅目 Hemiptera							
花蝽科 Anthocoridae	1	<1	0	1	0	0	0
姬蝽科 Nabidae	1	0	0	4	0	0	0
红蝽科 Pyrrhocoridae	1	16	1	<1	42	2	2
蜚蠊目 Blattaria							
蜚蠊科 Corydiidae	1	0	1	0	0	0	0
革翅目 Dermaptera							
铁鍬科 Labiidae	1	<1	0	0	0	0	0
蠼螋科 Labiduridae	1	<1	0	0	0	1	0
鳞翅目 Lepidoptera							
螟蛾科 Pyralididae	2	0	4	2	0	0	0
幼虫和蛹 Larvae and nymphae		<1	2	4	4	8	3
膜翅目 Hymenoptera							
蚁科 Formicidae	4	1	0	0	<1	0	0
锤腹姬蜂科 Stephanidae	1	<1	0	0	0	0	0
茧蜂科 Braconidae	4	2	1	6	0	0	24
姬蜂科 Ichneumonidae	2	1	1	1	0	0	0
肿腿蜂科 Bethyidae	1	<1	0	0	0	0	0
瘦蜂科 Cynipidae	1	0	0	0	0	0	<1
钩腹姬蜂科 Trigonidae	2	1	0	0	0	0	0
扁股小蜂科 Elasmidae	2	1	0	0	13	0	0
金小蜂科 Pteromalidae	4	3	0	4	1	0	0
蚜小蜂科 Aphelinidae	1	<1	0	0	<1	0	0
缘腹细蜂科 Scelionidae	2	<1	0	0	1	0	0
沙蜂科 Sphecidae	1	<1	0	0	0	0	0
刻腹小蜂科 Ormyridae	1	<1	0	0	0	0	0
短柄泥蜂科 Pemphredonidae	1	<1	0	0	0	0	0
幼虫和蛹 Larvae and nymphae		0	0	0	<1	0	0
啮虫目 Corrodentia							
圆翅啮虫科 Psoquillidae	1	0	1	0	0	29	0
斑啮虫科 Mesopsocidae	1	0	4	0	0	1	0
幼虫和蛹 Larvae and nymphae		0	0	0	<1	12	0
鞘翅目 Coleoptera							
瓢虫科 Coccinellidae	2	28	7	3	1	0	0
露尾甲科 Nitidulidae	1	<1	0	0	0	0	0
沼甲科 Helodidae	1	0	1	0	0	0	0
粉蠹科 Lyctidae	1	5	0	0	<1	0	0
长扁甲科 Cupedidae	2	<1	0	0	0	0	0
丸甲科 Byrrhidae	2	0	0	0	<1	0	0
细颈甲科 Pedilidae	1	3	0	0	0	0	0
隐翅虫科 Staphylinidae	1	0	0	<1	<1	0	0
天牛科 Cerambycidae	1	<1	0	0	1	4	0
豆象科 Bruchidae	1	0	0	0	0	1	0
蛛蠹科 Ptinidae	1	<1	1	1	0	0	0
象甲科 Curculionidae	1	<1	0	<1	0	0	0
步甲科 Carabidae	1	0	1	0	0	0	0
幼虫和蛹 Larvae and nymphae		1	0	<1	7	0	<1
双翅目 Diptera							
食蚜蝇科 Syrphidae	2	1	0	1	0	0	0
花蝇科 Anthomyiidae	1	<1	0	0	0	0	0
窗虻科 Scenopinidae	1	0	3	0	0	0	0
水虻科 Stratiomyidae	1	<1	0	0	0	0	0
长足寄蝇科 Dexiidae	1	1	4	5	0	0	0

附录I (续) Appendix I (continued)

目和科 Order and family	种数 No. of species	A(%)			B(%)		
		Ph	Sp	Sc	Ph	Sp	Sc
鼓翅蝇科 Sepsidae	2	<1	1	6	0	1	0
粪蝇科 Cordyluridae	1	<1	0	0	0	0	0
日蝇科 Helomyzidae	1	<1	0	0	0	0	0
蜚蝇科 Pyrgotidae	1	<1	0	<1	0	0	0
蝇科 Muscidae	2	<1	3	<1	<1	0	0
潜蝇科 Agtomyzidae	1	<1	1	2	0	0	0
剑虻科 Therevidae	1	<1	0	0	0	0	0
麻蝇科 Sarcophagidae	1	1	4	1	0	0	0
缟蝇科 Lauxaniidae	1	1	30	<1	0	0	0
蚤蝇科 Phoridae	1	0	0	<1	0	0	0
舞虻科 Empididae	1	<1	7	<1	0	0	0
虻科 Tabachycera	1	0	0	<1	0	0	0
果蝇科 Drosophilidae	2	1	0	18	0	0	<1
寄蝇科 Tachinidae	1	0	1	<1	0	0	0
蜂虻科 Bombyliidae	1	0	0	<1	0	0	0
大蚊科 Tipulidae	1	<1	0	1	0	0	0
摇蚊科 Chironomidae	2	<1	4	2	0	0	0
瘿蚊科 Cecidomyiidae	7	3	6	1	2	0	1
幼虫和蛹 Larvae and nymphae		1	3	0	10	38	3
同翅目 Homoptera							
飞虱科 Delphacidae	1	2	1	<1	0	0	0
叶蝉科 Cicadellidae	1	0	0	10	0	0	0
粉虱科 Aleyrodidae	1	<1	0	0	0	0	0
蚜科 Aphididae	1	20	1	12	10	0	61
耳叶蝉科 Ledridae	1	0	0	<1	0	0	0
扁叶蝉科 Gyponidae	1	0	0	<1	0	0	0
幼虫和蛹 Larvae and nymphae		0	0	0	2	0	0
缨翅目 Thysanoptera							
管蓟马科 Phloeotripidae	1	1	1	11	3	7	2
直翅目 Orthoptera							
草螽科 Conocephalidae	1	1	9	1	0	1	0
蟋蟀科 Gryllidae	1	0	1	0	0	0	0
蜻蜓目 Odonata							
蜻科 Libellulidae	1	0	1	<1	0	0	0

A: 网捕法所得昆虫类群占总数的百分比; B: 植株收割法所得昆虫类群占总数的百分比; Ph: 芦苇; Sp: 互花米草; Sc: 海三棱藨草
A, Percentage composition of insect taxa by net sweeping method; B, Percentage composition of insect taxa by plant harvesting method; Ph, *Phragmites australis*; Sp, *Spartina alterniflora*; Sc, *Scirpus mariqueter*