

# 水盾草入侵沉水植物群落的季节动态

俞 建<sup>1,2</sup>, 丁炳扬<sup>3</sup>, 于明坚<sup>1\*</sup>, 金孝锋<sup>1</sup>, 沈海铭<sup>4</sup>, 姜维梅<sup>1</sup>

(1. 浙江大学生命科学院, 杭州 310029; 2. 浙江省环境监测中心站, 杭州 310012;  
3. 温州师范学院生命科学院, 温州 325027; 4. 绍兴文理学院, 绍兴 312000)

**摘要:**水盾草(*Cabomba caroliniana*)是原产美国和南美巴西等地的多年生植物。自 1993 年作为新记录报道以来,在中国华东水网地带大面积扩散,并在江苏太湖流域、浙江杭嘉湖平原、宁绍平原等水域成为很多沉水植物群落的优势种。课题组在其分布区的苏州太湖乡、湖州道场乡、杭州五常乡、绍兴陶堰镇、柯岩镇和宁波方桥镇等 6 个地点设置固定样地对水盾草入侵群落进行了 9 个季节的调查,分析了不同季节群落种类组成与生物量的变化等。结果表明:各群落优势种在不同季节有变化,有些群落在所调查季节中主要优势种都为水盾草(五常乡、柯岩镇和方桥镇),另一些群落优势种则发生季节及年际变化(太湖乡、道场乡和陶堰镇),如太湖乡冬季优势种均为菹草、其它季节为水盾草。水盾草的生物量在样地、季节间变化很大,最高一般在秋季,变幅达近 50 倍。水盾草生物量的季节动态显示 3 种情况:一是由于人为干扰大幅下降,二是处于相对稳定的平衡状态,三是大幅上升。其中后两种情况下人为干扰较小,是群落自身演替的结果。从种类组成来看,种类组成单一的群落,水盾草重要值均在 50% 以上;种类组成复杂的群落,其重要值随季节而变化。说明群落物种丰富度与其对水盾草的易感性间有较密切的联系,水盾草易于入侵组成单一的群落,并迅速成为优势种。本地种与水盾草的生物量最大值出现在不同水深下,水盾草的最适生长水深在 1.6m 左右的水域,而本地种金鱼藻、苦草和黑藻的最适水深在 0.8~1m 左右。水盾草 4 个季节最适水深比本地种都要大,表明它们在沉水植物群落中处于不同生态位。较低的群落物种多样性与空间生态位空缺可能是水盾草成功入侵的主要原因。清淤等人为控制是防治水盾草入侵成功的有效手段,但这也将使本地种的生存受到威胁。

**关键词:**外来种; 水盾草; 沉水植物群落; 季节动态; 种类组成; 生物量

## The seasonal dynamics of the submerged plant communities invaded by *Cabomba caroliniana* gray

YU Jian<sup>1,2</sup>, DING Bing-Yang<sup>3</sup>, YU Ming-Jian<sup>1\*</sup>, JIN Xiao-Feng<sup>1</sup>, SHEN Hai-Ming<sup>4</sup>, JIANG Wei-Mei<sup>1</sup> (1. College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2. Zhejiang Environmental Monitoring Center, Hangzhou 310012, China; 3. School of Life and Environmental Science, Wenzhou Normal College, Wenzhou 325027, China; 4. Shaoxing University, Shaoxing 312000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2149~2156.

**Abstract:** *Cabomba caroliniana* (cabomba, fanwort) is a perennial aquatic plant originated from the United States, Brazil and the other places of the South America. Since reported as a new record in 1993, *Cabomba* have been widely spread in the water bodies in the eastern China, and become dominant in the submerged plant communities of Taihu lake region in Jiangsu Province, Hangjiahu lake and Ningshao Plains in Zhejiang Province. Aiming at describing the seasonal dynamics of species composition and biomass of the communities invaded by *Cabomba*, six sites were investigated in Taihu (Suzhou), Daochang (Huzhou), Wuchang (Hangzhou), Taoyan (Shaoxing), Keyan (Shaoxing), and Fangqiao (Ningbo) using quadrat method in the nine seasons from the winter of 2000 to the winter of 2002. The results showed that, the dominant species of the

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000046803);国家自然科学基金资助项目(39970145)

收稿日期:2003-07-11;修订日期:2004-01-05

作者简介:俞建(1975~),男,浙江省永康人,硕士生,主要从事植物生态学与保护生物学研究。

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: ymj918@mail.hz.zj.cn

致谢:周宏老师、浙江大学生命科学院的符翔、方洁、陈苍松、盛文龙、王鹏和绍兴文理学院的王月丰等同学参加了野外调查,特此致谢!

**Foundation item:** The National Key Basic Research Project (No. G2000046803) and The National Natural Science Foundation of China (No. 39970145)

Received date: 2003-07-11; Accepted date: 2004-01-05

**Biography:** YU Jian, Master, mainly engaged in plant ecology.

communities were only occasionally changed with season in some places, including the communities in Taihu, Daochang, and Taoyan. Where Cabomba always dominated the Taihu community except it was replaced by *Potamogeton crispus* in winter seasons. However the biomass of Cabomba was varied remarkably among sites and seasons, the scale was as large as 50 times, and the peak was normally occurred in autumn. The seasonal dynamics of Cabomba biomass showed three kinds of regularities, the rapidly decreasing, relatively stable, and greatly increasing. Where the last two trends were the result of community succession with a relatively low level of human disturbance. The dominance of Cabomba was also changed with season, however it kept in a high level (importance value  $>50\%$ ) if the community was simple in species composition. Which means species simple communities can be easily invaded and quickly dominated by Cabomba. The maximum biomass of native species and Cabomba were occurred in different depth of water. The suitable depth for Cabomba was approximately 1.6 meters, while it was approximately 0.8 ~ 1.0 meters for native species (*Ceratophyllum demersum*, *Vallisneria natans* and *Hydrilla verticillata*, etc.). The suitable depth of Cabomba was always deeper than that of native species with the season changed, which means Cabomba can occupy a unique niche in the submerged plant communities. The two reasons for the successful invasion of Cabomba, we can conclude from our study from the aspect of community ecology, might be the low species diversity and the vacancy of spatial niche in the community. Some artificial methods may be effective to Cabomba control accordingly, such as the clearing away of the silt, but it will threaten the existence of native species as well.

**Key words:** alien species; *Cabomba caroliniana*; submerged plant community; seasonal dynamics; species composition; biomass

文章编号:1000-0933(2004)10-2149-08 中图分类号:Q178.1 文献标识码:A

外来入侵种是指通过自然的或人为因素引入到自然分布区外,在自然分布区外的自然、半自然生态系统或生境中建立种群,并影响、破坏引入地的生物多样性,造成经济损失的物种<sup>[1,2]</sup>。其对生物多样性的影响表现在两个方面:一是形成优势种群,使本地物种的生存受到影响并最终导致本地物种的灭绝,破坏物种多样性,造成物种单一化;二是通过压迫和排斥本地物种导致生态系统物种组成和结构发生改变,导致生态系统退化。外来入侵种对生物多样性及可持续发展所带来的危害和损失无论是现实或潜在的,都不可低估;现也已成为危害我国生物多样性和生态环境的重要因素<sup>[3]</sup>。

水盾草(*Cabomba caroliniana*)原产于美国和南美洲巴西等地,为严格多年生沉水植物,除了花和偶然出现的浮水叶,植株完全沉水<sup>[4]</sup>。其茎为草绿色到橄榄绿,有时略带红棕色,浮水叶片(如果有)盾形、全缘,绿色或橄榄绿色,长 5~20mm,宽 1~3mm,着生于花枝上。沉水叶具柄,对生稀为 3 叶轮生,分裂,叶裂片呈线形,但顶端裂片略呈匙形。半圆形的叶子数次二叉或三叉分支。花单生,被腋生的花梗挺于水面,直径 6~15mm,长 6~12mm,乳白色、淡黄色或略带紫色。花一般两性,3 基数,但 2 基数和 4 基数的花偶有发现,目前国内还没有种子的报道。在原产地美国和被侵入地澳大利亚等国,水盾草的侵扰引起水库和运河等航道的堵塞;其大量死亡后腐烂耗氧,对渔业造成危害;在澳大利亚水盾草有取代本土水生植物的趋势,对生物多样性造成显著影响<sup>[4]</sup>。我国于 1993 年在宁波首次发现该种植物,直至近年采到具花标本后才作为新记录予以报道<sup>[5,6]</sup>。目前已知水盾草在江苏太湖流域、浙江杭嘉湖平原、宁绍平原等水域成为群落的优势种<sup>[7]</sup>,至今对其入侵后群落的动态及哪些群落对其入侵有易感性还不清楚。因此,加强对水盾草入侵群落动态的研究,对了解水盾草入侵和扩散机理,以及找到有效防治手段都有重要意义。

本文对华东地区设置 6 固定样地进行了为期两年的群落学调查,旨在探讨水盾草入侵后水生植物群落种类组成、群落数量特征以及不同水深条件下种群结构的季节变化规律,揭示水盾草入侵机制、入侵程度及扩散趋势。

## 1 研究样地的概况

在对华东地区有水盾草的群落进行调查的基础上,选择了 6 个具有代表性的样地进行长期的观测调查。分别是苏州太湖乡、湖州道场乡(只调查了 4 个季度)、杭州五常乡、绍兴陶堰镇和柯岩镇、宁波方桥镇(图 1)。样地多位于华东地区的水网地带,各样地的水域类型也以中小型河流为主,只有太湖的样地属湖泊边的河道,水流慢、河岸处水深一般都小于 0.5m。各点水体的透明度大致为 0.60m~1.45m,pH 值 6.64~7.65,总氮 1.823~6.157mg/L,总磷 0.026~0.211mg/L,COD<sub>Cr</sub>5.41~12.77mg/L,DO<sub>2</sub> 4.5~11.68mg/L,水质大多处于中营养化和富营养化水平。

研究样地的设置主要根据 2000 年夏季对水盾草入侵群落调查的初步结果。主要考虑两个因素:一是根据其群落结构、种类组成特点和水盾草的优势程度,太湖乡群落组成较复杂,水盾草是亚优势种(优势度为 29.99%);道场乡群落组成最复杂,沉水植物种数最多达十几种,水盾草也为亚优势种(优势度为 20.57%)。陶堰镇和柯岩镇样地的群落组成较为复杂,水盾草已成为

## 万方数据

\* 道场乡研究样地只调查 4 个季度,由于人为的因素,样地受到严重破坏,因此后面的分析中没有对其进行综合分析

优势种或共优种(优势度分别为 58.62%和 48.01%);方桥镇群落组成单一,水盾草为绝对优势种(优势度达 85.16%)。二是沿水盾草分布的太湖流域、杭嘉湖平原及宁绍平原水网的进行线形设置,分布最密集的绍兴设了两个点。杭州五常乡于 2001 年夏季调查后增设为固定样地,其群落较为单一,水盾草也已成为优势种(优势度为 61.04%)。

## 2 研究方法

### 2.1 采样方法

在所选择地内,距离 20~50m 不等(视样地范围大小而定)选择 10 个代表性的剖面。确定剖面后,从岸边开始到水体中央,每 0.4m 左右水深用采草器(50cm×50cm)采样(每一次采样作为一个样方),至肯定没有沉水植物的水深处为止。每次采样将采草器内的植物拔起,马上洗净、分种类、称其鲜重,并取每一种植物一定重量的样品带回,在 80℃ 条件下烘干至恒重并称重,以此换算每一种植物的干重。

从 2000 年冬季到 2002 年冬季,对固定样地进行 9 个季节的采样调查,每次采集的剖面均不重复且邻近。

### 2.2 数据处理与分析

根据沉水植物特性,各种类优势度用生物量和频度推算<sup>[8,9]</sup>:

$$\text{优势度} = [(\text{相对频度} + \text{相对生物量}) \times 100\%] / 2$$

除了以样地为单位计算优势度外,为了解不同水深的种类组成,还以陶堰样地中水深梯度为单位,计算了各种类的相对生物量。

## 3 研究结果

### 3.1 样地群落种类组成的季节动态

各样地的群落种类的组成除杭州五常乡根据 2001 年夏季后(补充)的调查结果外,其它样地则根据 9 个季节调查结果(表 1)。

苏州太湖乡是一个水盾草+金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)+苦草(*Vallisneria spiralis*)+黑藻(*Hydrilla verticillata*)+菹草(*Potamogeton crispus*)等 10 种植物组成的群落,在 9 个季节中除冬季外水盾草都是优势种,且优势度值都是在 50%以上(表 1)。春、夏、秋季的群落组成变化不大,但在冬季菹草数量大幅上升并成为优势种,其它种类则大幅度下降。在 9 个季节中 2002 年秋水盾草的优势度值最大,达到 63.44%。

杭州五常乡群落的种类组成在调查的 7 个季节内变化较小,由水盾草+金鱼藻+苦草+水蓼属(*Hygrophila* sp.) 1 种等 5 种植物组成(表 1)。7 个季节的优势种均为水盾草,且优势度很大,依次分别为 62.46%、66.2%、56.52%、67.17%、76.32%、69.49%和 65.61%(表 1)。显示此群落组成已较为稳定,水盾草可能已暂时入侵成功。

绍兴陶堰镇是金鱼藻+水盾草+苦草+黑藻等 7 种植物组成的群落,2000 年冬、2001 年秋和 2002 年春群落优势种为水盾草,其它季节优势种都是金鱼藻。2000 年冬、2001 年秋和 2002 年春水盾草优势度值分别为 65.03%、32.83%和 43.72%,其它季节金鱼藻的优势度依次为 42.44%、47.91%、48.21%、53.99%、49.71%和 44.56%(表 1)。因此,群落的主要优势种基本上还是金鱼藻,其优势度都在 50%左右,水盾草为共优种。

绍兴柯岩镇是水盾草+苦草+金鱼藻+黑藻等 6 种植物组成的群落,9 个季节优势种都为水盾草,优势度依次分别为 44.02%、51.45%、43.63%、57.65%、47.83%、43.82%、49.45%、43.01%和 37.13%(表 1)。2002 年后水盾草的优势度有所下降,水盾草仍为群落优势种,且群落种类组成的数量特征变化较大。

宁波方桥镇是所有样地中组成最为特殊的一个,是水盾草+苦草群落,水盾草的优势度非常大,甚至在冬季时成为水盾草的单一群落(表 1)。

### 3.2 群落数量特征的动态

本节对多数固定样地中 4 种主要沉水植物(水盾草、金鱼藻、黑藻和苦草)的优势度和生物量进行分析。

3.2.1 优势度的季节变化 水盾草在太湖乡(除 2002 年冬季)、五常乡、方桥镇(除 2002 年秋、冬季)所有的季节中,优势度都在 50%以上(如排除人为的因素:苏州太湖的样地 2002 年进行了河道清理,宁波方桥样地 2002 年秋季后水环境污染水草突然

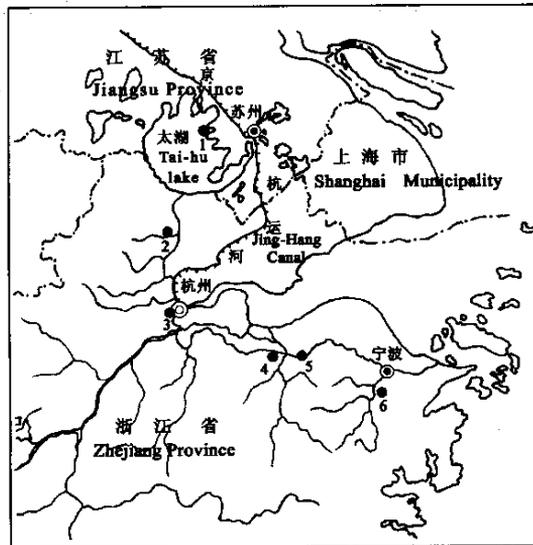


图 1 水盾草入侵群落调查样地布置图

Fig. 1 The allocation of plots for research on the communities invaded by *Cabomba caroliniana*

各样地号所处地点 The No. of plots means: 1 太湖乡 Taihu N31°21'49", E120°22'20"; 2 道场乡 Daochang N 30°48'9", E 120°3'39"; 3 五常乡 Wuchang N 30°15'47", E 120°7'19"; 4 柯岩镇 Keyan N 29°59'15", E 120°31'8"; 5 陶堰镇 Taoyan N 30°0'47", E 120°45'27"; 6 方桥镇 Fangqiao N 29°46'34", E 121°25'27"

大幅减少并消失。见生物量的季节变化),其中五常乡、方桥镇入侵群落的结构相对较为单一,群落对水盾草的抗侵入性较差,显示水盾草已成功入侵,在上述 3 个群落中成为绝对优势种,优势度出现震荡上升的趋势,同时对本地沉水植物有明显的排斥现象。

表 1 5 个固定样地群落的种类组成

Table 1 The species composition of the submerged plant communities of five plots

物种 Species	2000 年		2001 年				2002 年			
	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	
太湖乡 Taihu										
水盾草 <i>Cc</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
金鱼藻 <i>Cd</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	
苦草 <i>Vn</i>		+	+	+		+	+		+	
黑藻 <i>Hv</i>		+	+	+		+	+	+		
马来眼子菜 <i>Pm</i>		+	+	+				+		
狐尾藻 <i>Ms</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	
菹草 <i>Pc</i>	+	+		+	+	+	+	+	+	
水车前 <i>Oa</i>		+								
黄花狸藻 <i>Ua</i>			+							
大茨藻 <i>Nma</i>							+			
优势种 Ds	菹草 <i>Pc</i>	水盾草 <i>Cc</i>	水盾草 <i>Cc</i>	水盾草 <i>Cc</i>	菹草 <i>Pc</i>	水盾草 <i>Cc</i>	水盾草 <i>Cc</i>	水盾草 <i>Cc</i>	菹草 <i>Pc</i>	
优势度 Dv (%)	69.70	61.81	57.78	51.79	58.59	56.65	55.74	63.44	58.51	
五常乡 Wuchang										
水盾草 <i>Cc</i>			+	+	+	+	+	+	+	
金鱼藻 <i>Cd</i>			+	+	+	+	+	+	+	
苦草 <i>Vn</i>			+	+	+	+	+	+	+	
黑藻 <i>Hv</i>				+						
菹草 <i>Pc</i>					+				+	
水蓼衣 1 种 <i>Hs</i>			+	+	+	+	+	+	+	
优势种 Ds			水盾草 <i>Cc</i>							
优势度 Dv (%)			62.46	66.2	56.52	67.17	76.32	69.49	65.61	
陶堰镇 Taoyan										
水盾草 <i>Cc</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
金鱼藻 <i>Cd</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
苦草 <i>Vn</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
黑藻 <i>Hv</i>		+	+	+		+	+	+		
狐尾藻 <i>Ms</i>		+		+	+	+		+		
菹草 <i>Pc</i>	+				+	+			+	
马来眼子菜 <i>Pm</i>				+						
优势种 Ds	水盾草 <i>Cc</i>	金鱼藻 <i>Cd</i>	金鱼藻 <i>Cd</i>	水盾草 <i>Cd</i>	金鱼藻	水盾草 <i>Cc</i>	金鱼藻 <i>Cd</i>	金鱼藻 <i>Cd</i>	金鱼藻 <i>Cd</i>	
优势度 Dv (%)	65.03	42.44	47.91	32.83	48.21	43.72	53.99	49.71	44.56	
柯岩镇 Keyan										
水盾草 <i>Cc</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
金鱼藻 <i>Cd</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
苦草 <i>Vn</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
黑藻 <i>Hv</i>		+	+	+	+	+	+	+		
菹草 <i>Pc</i>	+				+	+			+	
黄花狸藻 <i>Ua</i>								+		
优势种 Ds	水盾草 <i>Cc</i>	水盾草								
优势度 Dv (%)	44.02	51.45	43.63	57.65	47.83	43.82	49.45	43.01	37.13	
方桥镇 Fangqiao										
水盾草 <i>Cc</i>	+	+	+	+	+	+	+	+		
苦草 <i>Vn</i>		+	+	+		+	+	+		
优势种 Ds	水盾草 <i>Cc</i>	水盾草								
优势度 Dv (%)	100	86.95	78.72	93.10	100	88.23	92.33	53.10		

“+”表示存在这种水生植物 Shows there be submerged plant; Ds: Dominant species; Dv: Dominant value; *Cc*: *Cabomba caroliniana*; *Cd*: *Ceratophyllum demersum*; *Vn*: *Vallisneria natans*; *Hv*: *Hydrilla verticillata*; *Pm*: *Potamogeton malaiianus*; *Ms*: *Myriophyllum spicatum*; *Pc*: *Potamogeton crispus*; *Oa*: *Ottelia alismoides*; *Ua*: *Utricularia aurea*; *Nmi*: *Najas minor*; *Nma*: *Najas marina*; *Hs*: *Hygrophila* sp.

陶堰镇水盾草的优势度都在 50% 以下,群落优势种随季节动态在金鱼藻与水盾草间变化。柯岩镇在调查的时段内,水盾草都为群落主要优势种,但其优势度相对前面 3 个样地低,都没有超过 50%,而 3 种本地沉水植物的优势度相比前面 3 个样地要

大很多。同时,两个样地水盾草的优势度季节变化与前面 3 个样地也不一致,水盾草与本地沉水植物处于一种相对稳定的动态平衡状态,显示其群落的数量特征还在不断变化中。

群落组成的 4 种主要水生植物,水盾草与金鱼藻之间在优势度上表现为出一种互为消长的关系。以五常乡与柯岩镇为例,当水盾草优势度达到峰值时,金鱼藻的优势度则为谷值(图 2),而水盾草与苦草、黑藻间则没有明显的对应关系。

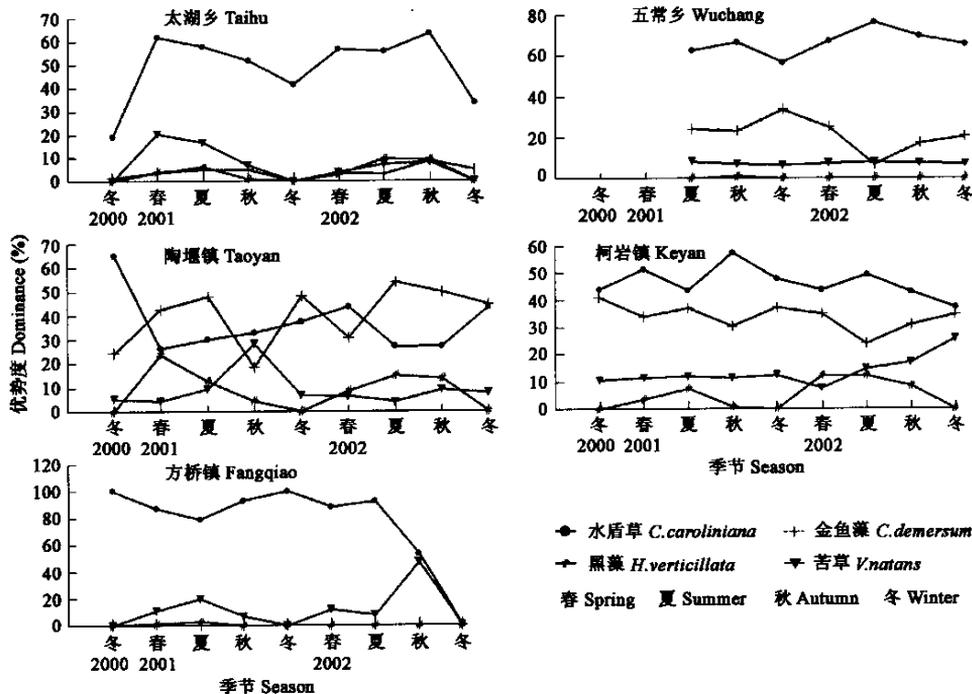


图 2 各样地主要植物优势度的季节动态

Fig. 2 The seasonal dynamics of dominant value of main plants in various plots

3. 2. 2 生物量的季节变化 水盾草生物量在样地、年际间变化很大,五常乡 2002 年秋季达最大值(89.48 g/m<sup>2</sup>),太湖乡 00 年冬季为最小值(1.98 g/m<sup>2</sup>)(图 3)。不同样地不同季节间其生物量的差异很大,变幅达近 50 倍,最高期一般在秋季,但各样地不完全一致。水盾草生物量在一年中变化也很大,如柯岩样地 2001 年的最小和最大值分别为 14.76 g/m<sup>2</sup> 与 37.04 g/m<sup>2</sup>,水盾草的最大生物量与最大优势度往往在时间上并不一致。水盾草生物量季节动态显示,2000 年冬到 2002 年春水盾草生物量动态显示其处于一相对稳定的动态平衡中。2002 年夏后各样地水盾草生物量动态出现 3 种趋势:一是太湖乡和方桥镇,两样地在水盾草生物量出现快速下降(图 3)。由于太湖乡 2002 年秋季进行河道清淤,方桥镇水环境严重污染(方桥镇 2000 年夏季水质参数总 N、总 P 为 1.71 和 0.13 mg/L,而在 2002 年夏季水质参数总 N、总 P 为 3.66 和 0.165 mg/L,2002 年秋季总 N 达到了 6.157 mg/L)。因此,可以认为这两个样地水盾草生物量的下降主要是由于人为因素造成。二是陶堰镇与柯岩镇,水盾草生物量表现依然平稳,处于动态平衡中(图 3)。三是五常乡,水盾草生物量大幅上升(图 3)。由于太湖乡和方桥镇受到较大人为干扰,所以其生物量的动态并不能反映群落演替规律。但从其生物量的变化能得出,人为的干扰(比如人为的清除等)是防治水盾草扩散的一种有效手段。而后两种趋势的样地受到人为干扰较小,可认为水盾草在这几个样地变化的规律是群落内物种间相互作用的结果,反映出水盾草入侵后群落演变的态势。

金鱼藻、苦草和黑藻是本地水生群落的主要建群种,动态显示,金鱼藻在不同季节生物量的波动很大,显示物候直接影响着金鱼藻的生物量,同时季节动态显示水盾草生物量与金鱼藻生物量间有着相当密切的关系,但与优势度的关系并不一致,两者表现为相互协同的增加,柯岩镇的年际变化就更加的明显(图 3)。在不同的样地群落内苦草生物量季节动态表现不一,太湖乡和方桥镇生物量逐渐的减少,五常乡则显示苦草生物量在所有季节内相当稳定、水盾草生物量变化几乎没有对其造成影响,陶堰镇与柯岩镇水盾草生物量在不同的季节出现显著波动、两样地苦草的生物量动态也是不一致的,柯岩镇在某一范围内上下波动、且生物量的最大值都出现在秋季,陶堰镇则表现为震荡上升。表明苦草有着较宽的生态幅,能够很好的适应环境,且生境不同直接影响着群落中的演替规律。黑藻在水盾草入侵群落内动态显示较为一致,在夏秋季其生物量达到最大值,冬季则完全消失。

生物量季节动态显示,水盾草在入侵群落内都有一个相对稳定的时期,而入侵群落结构的复杂程度将影响水盾草最终演变方向。

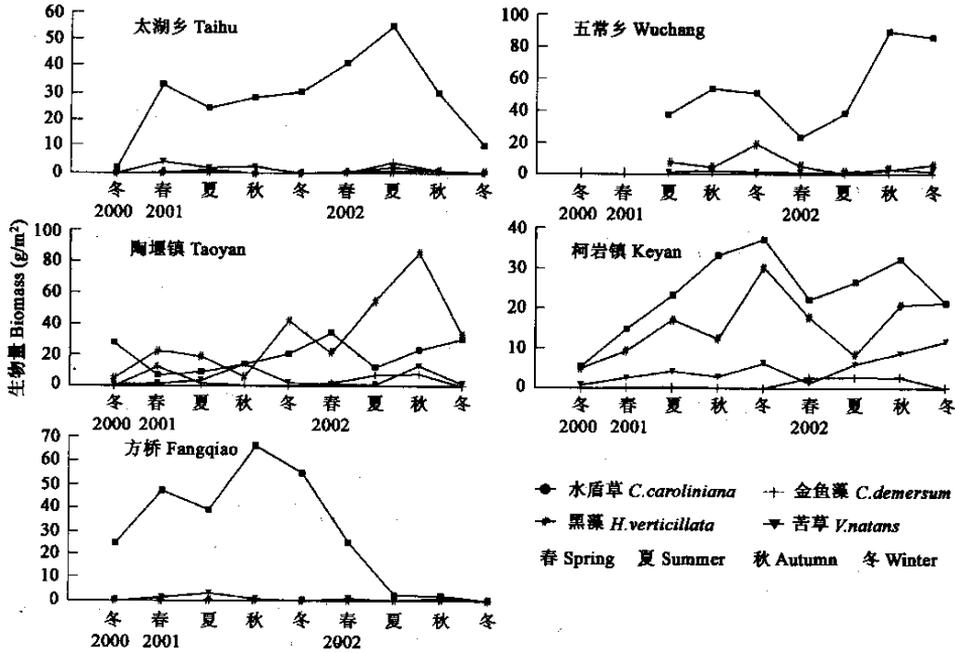


图3 各样地主要植物生物量的季节动态

Fig. 3 The seasonal dynamics of biomass of main plants in various plots

3.2.3 不同水深的相对生物量的变化 由于其它5个样地一般最大水深仅为1.6m左右,因此选择绍兴陶堰镇分析其不同水深相对生物量(某一水深处生物量占有所有生物量的百分比)的变化。陶堰最大水深可达到5~8m,从0~2.8m处都有水草的分布,且样地受到人为的干扰较小。

陶堰4种主要组成植物水盾草、金鱼藻、苦草和黑藻中,前面3种植物在4个季节都有出现,冬季时黑藻没有出现(图4)。4个季节水盾草相对生物量的最大值分别处在1.6~2.0m、1.2~1.6m、1.6~2.0m和1.2~1.6m水深处,金鱼藻分别在0.4~0.8m、0.8~1.2m、0.4~0.8m和0.8~1.2m处,苦草分别在0.8~1.2m、0.8~1.2m、0.4~0.8m和0.4~0.8m处,而黑藻的相对生物量的最大值都是处在0.4~0.8m(图4)。水盾草的最适水深在1.6m左右的水域,而金鱼藻、苦草和黑藻的最适生活水域比较接近,都在0.8~1m左右的水深处。同时水盾草生长的水深极限也要比其它3种沉水植物大,即使是在水深达到2.4m甚至在水深为2.8m水域时都有水盾草的分布。从相对生物量上也表明,2.4m以上水深处水盾草的分布还较为广泛,在其它国家水盾草也可分布在3m以下的水深处<sup>[4]</sup>。

季节变化对4种水生植物影响也不一样,苦草与其它几种植物相比更加适合温度相对低的水域,从春季到夏季苦草最大相对生物量值出现的水深由从浅到深,而秋季到冬季情况则刚好相反(图4)。水盾草与金鱼藻对各季节温度变化的适应趋势较为一致,即当季节的温度从低到高时,它们最适的生活的水域由深到浅移动,反之比如进入冬季,生活的最适水深会向水深处发展(图4)。黑藻是4种水草中对季节温度变化最敏感的一种,在冬季根本就没有黑藻的存在,这和其它样地的野外调查的一致。在样地的不同季节与水深处,苦草的相对生物量都相对稳定,因其具较大的生态幅,它可以在贫水中和一定富营养化的水域生长,同时它对温度也具有相对较大的耐受性。

## 4 讨论

### 4.1 群落结构与水盾草的动态

所统计分析的5个固定样地既有物种较为丰富的样地(如陶堰镇、柯岩镇),也有物种相对单一的样地(方桥、五常样地)(表1),在这两类样地中水盾草的优势度不一。群落组成复杂的样地,水盾草不一定为优势种、或虽为优势种但是其优势度与本地种相差不大;而群落组成相对单一的样地,水盾草的优势度非常明显,都在50%以上。Elton等认为群落对外来种入侵的抵抗性与群落中物种数量成正比,物种多样性贫乏的群落更容易受到外来种入侵<sup>[10]</sup>。原因是物种多样性较高的生物群落中,不同物种的生活史周期相互重叠程度大,本地种能长时间保持对空间的高效利用,剩余的可利用空间很少,因此外来生物难以入

侵<sup>[11]</sup>。因此,保持群落物种多样性对于在防治外来种入侵是一种非常有效的手段。外来种入侵当地生态系统后,通过竞争作用可能导致本地一些物种的减少甚至灭绝,最终导致生物多样性丧失。

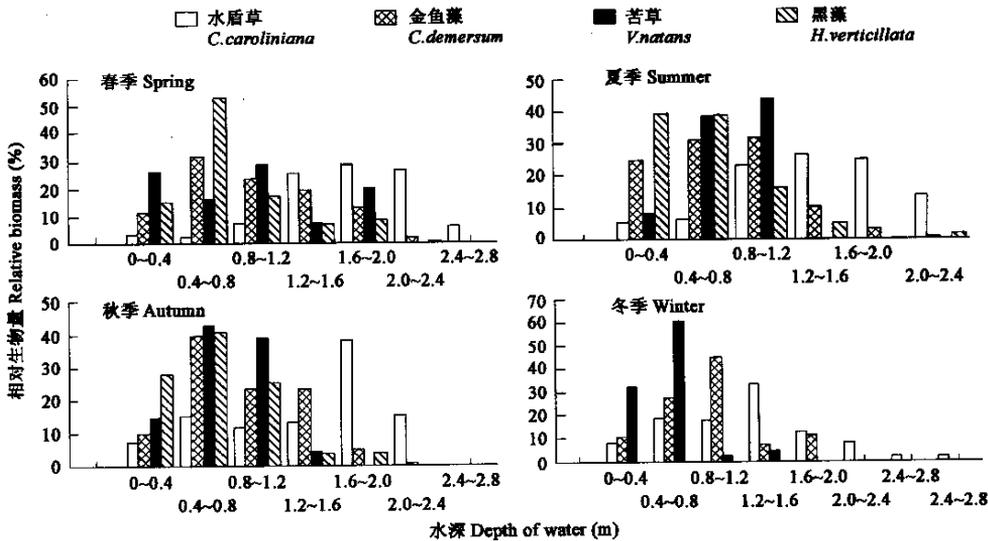


图4 2002年绍兴陶堰样地主要植物不同水深相对生物量的季节动态

Fig. 4 The seasonal dynamics of relative biomass of main plants at Taoyan-Shaoxing plot in 2002

在陶堰镇,春、夏、秋季都是金鱼藻为主要优势种,只有在冬季水盾草的优势度超过了金鱼藻。因为金鱼藻茎叶多漂浮,与底泥几乎不发生密切的联系,其营养繁殖体也是松散的铺于水底,它从秋季后开始进入衰亡时期<sup>[12]</sup>。然而这种影响随后即会被随后金鱼藻迅速的发展所弥补,保证了它在群落中所处的优势地位<sup>[13]</sup>。金鱼藻的优势度与水盾草优势度间表现为一种互为消长的关系(图2),而在生物量的动态上则显示两者趋势一致。可见金鱼藻与水盾草的成功入侵及其在群落内的发展有着密切的关系。

水生植物的生长和扩张主要受水深和透明度的影响,群落中优势种的不同(群落演替的阶段不一样和生境的异质性造成)以及群落结构的改变等都会对群落的生物量产生影响<sup>[14]</sup>。水生植物的消长是多方面的,如生活污水和农田肥水的流入,可以使河道中水生植物生长更加茂盛,但是水位、人为的清除和工业废水的污染,则可使水生植物减少,甚至灭绝<sup>[15,16]</sup>。

在群落种类组成较简单的样地(如绍兴陶堰镇和柯岩镇),水盾草与3种沉水植物的生物量表现为相对稳定的动态演替关系。在物种丰富的群落其变化关系较为复杂,但入侵种生存机会和生物量大小受本地种的强烈影响<sup>[17]</sup>。表明水盾草虽然在这些样地成功的入侵,但群落的物种丰度显然影响了水盾草的生长。而物种愈少的群落一旦受到入侵,会导致物种数量的进一步减少<sup>[18]</sup>。本研究中,在群落结构单一的五常乡水盾草生物量在稳定一段时期后大幅上升,除苦草生物量相对稳定外,其它沉水植物生物量不断下降,最后趋向于消失。

#### 4.2 水盾草竞争优势及预测

由于不同的物种分布在不同的水深,且它们的个体生长特征有很大的不同,故群落的生物量呈现出一定的波动<sup>[13,14]</sup>。金鱼藻为在浅水处多漂浮的植物,因而金鱼藻的相对生物量最大值一般出现在浅水区域。而水盾草相对生物量的最大值分布的水深比金鱼藻分布的深。因此,虽然水盾草与金鱼藻在优势度动态上表现为互为抑制,但在生物量动态上则表现为相似的生长趋势(图3)。从水深梯度上来看,水盾草的生态幅要大于金鱼藻,由于金鱼藻多以漂浮茎叶而水盾草则茎叶以沉水为主,从垂直空间分布上生态位重叠并不高,因此两种植物在生态位的竞争并不激烈。其它水生植物的在水深上梯度上的分布与金鱼藻相似,由此可认为生态位空缺可能是水盾草成功入侵的原因之一。

从季节动态能够得出群落结构的组成将直接关系着水盾草入侵及其以后的演替趋势。结构单一的群落显然是水盾草的易感群落,水盾草入侵后并成为优势种,其虽能本与本地种间保持一定的稳定状态,然一旦群落物种丰度下降,水盾草即会打破平衡,出现大幅的生长和扩散,并最终导致本地物种数量的下降、消失。道场乡和太湖乡2002夏后、方桥镇2002夏后分别出现各种人为干扰因素导致群落结构变化,在干扰初期水盾草虽然生物量明显下降但其优势度明显上升,在干扰后期才大幅下降,显示水盾草抗干扰能力要强于本地沉水植物。人为清除是防治水盾草入侵及扩散的一种有效手段,但这种手段因同时使其它本地

种遭毁灭而并不现实。

## References:

- [1] Peng S L, Xiang Y C. The invasion of exotic plants and effects of ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(4):560~568.
- [2] Xu C, Zhang W J, Lu B R, *et al.* Progress in studies on mechanisms of biological invasion. *Biodiversity Science*, 2001, **9**(4):430~438.
- [3] Li Z Y, Xie Y. *Invasive alien species in china*. China Forestry Publishing House, 2002.
- [4] Mackey A P and Swarbrick J T. The biology of Australian weeds: 32. *Cabomba caroliniana* Gray. *Plant Protection Quarterly*, 1997, **12**(4): 154~165.
- [5] Ding B Y. *Cabomba aublet. (cabombaceae)*, a newly naturalized genus of China. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2000, **38**(2):198~200.
- [6] Wan Z G, Gu Y J, Qian S X. *Cabomba* aubl. of nymphaeaceae—A new record genera from china. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1999, **17**(3):215~216.
- [7] Ding B Y, Yu M J, Jin X F, *et al.* The distribution characteristics and invasive route of *Cabomba caroliniana* in china. *Biodiversity Science*, 2003, **11**(3):223~230.
- [8] Chen H D. Structure and dynamics of macrophyte communities in lake Donghu, Wuhan. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1980, **11**:275~284.
- [9] Cui X H, Chen J K, Li W. Survey methods on aquatic macrophyte vegetation in lakes in the middle and lower reaches of changjiang river. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1999, **17**(4):357~361.
- [10] Elton C. *The Ecology of Invasion by Plant and Animal*. London: Methuen, 1958.
- [11] Callaway R M, Aschehoug E T. Invasive plants versus their new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion. *Science*, 2000, **290**:521~523.
- [12] Hutchinson G E. *A Treatise on Limnology*. Vol III. Limnological Botany. John Wiley & Sons, 1975.
- [13] Li W, Cheng Y. Quantitative analysis on the main submerged communities in Honghu lake III. *Ceratophyllum demersum* + *Potamogeton crispus* + *Myriophyllum spicatum* community. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, **24**(1):30~35.
- [14] Zhan C W, Yu D, Wu Z H, *et al.* The community ecology of aquatic plant in the water-land ecotone of liangzi lake. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, **25**(5):573~580.
- [15] Chen H D, He C H. Standing crop of the macrophytes of lake Donghu, Wuchang, with reference to the problem of its rational piscicultural utilization. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1975, **5**(3):410~420.
- [16] Haniffa N C & Pandian T J. Morphometry, primary productivity and energy flow in a tropical pond. *Hydrobiologia*, 1978, **59**(1):23~48.
- [17] Lavorel S, Prieur-Richard A H, Grigulis K. Invasibility and Diversity of Plant Communities: from Patterns to Processes. *Divers Distrib.*, 1999, **5**:41~49.
- [18] Dukes J S. Biodiversity and Invasibility in Grassland Microcosms. *Oecologia*, 2001, **126**:563~568.

## 参考文献:

- [1] 彭少麟, 向言词. 植物外来种入侵及其对生态系统影响. *生态学报*, 1999, **19**(4):560~568.
- [2] 徐承远, 张文驹, 卢宝荣, 等. 生物入侵机制研究进展. *生物多样性*, 2001, **9**(4):430~438.
- [3] 李振宇, 解焱. 中国外来物种. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [5] 丁炳扬. 中国水生植物一新归化属——水盾草属(莼菜科). *植物分类学报*, 2000, **38**(2):198~200.
- [6] 万志刚, 顾咏洁, 钱士心. 中国睡莲科一新记录属——水盾草属. *武汉植物学研究*, 1999, **17**(3):215~216.
- [7] 丁炳扬, 于明坚, 金孝锋, 等. 水盾草在中国的分布特点和入侵途径. *生物多样性*, 2003, **11**(3):223~230.
- [8] 陈洪达. 武汉东湖水生维管束植物群落的结构和动态. *海洋与湖泊*, 1980, **11**:277~283.
- [9] 崔心红, 陈家宽, 李伟. 长江中下游湖泊水生植被调查方法. *武汉植物学研究*, 1999, **17**(4):357~361.
- [13] 李伟, 程玉. 洪湖主要沉水植物群落的定量分析 III. 金鱼藻+菹草+穗花狐尾藻群落. *水生生物学报*, 2000, **24**(1):30~35.
- [14] 詹存卫, 于丹, 吴中华, 等. 梁子湖水-陆交错区水生植物群落生态学研究. *植物生态学报*, 2001, **25**(5):573~580.
- [15] 陈洪达, 何楚华. 武昌东湖水生维管束植物的生物量及其在渔业上的合理利用问题. *水生生物学集刊*, 1975, **5**(3):410~419.