

# 杭州西溪湿地植物组成及其与水位光照的关系

沈琪<sup>1,2</sup> 刘珂<sup>3</sup> 李世玉<sup>1</sup> 张骏<sup>1</sup> 蒋跃平<sup>4</sup> 葛滢<sup>1</sup> 常杰<sup>1\*</sup>

(1 浙江大学生命科学学院 杭州 310058) (2 浙江教育学院 杭州 310012)  
(3 浙江省环境保护科学设计研究院 310007) (4 杭州西溪湿地国家公园 杭州 310013)

**摘要** 杭州西溪湿地是在自然湿地基础上,并在一千多年农渔耕作用下形成的城市边缘次生湿地。随着工业化和城市化,它的面积急剧萎缩,植被受干扰,生态脆弱,不久前成立的西溪国家湿地公园已经将保护提上日程。该文在报道这类特殊湿地植被结构和物种多样性的基础上试图回答下列问题:何种小生境利于保护本地和湿地植物多样性?入侵种在各种小生境中的影响如何?怎样防控?根据调查,将西溪湿地草本层的小生境分成5种类型:强光高基、弱光(有树遮光)高基、强光低基、强光高渚和强光低渚。采用分层和随机取样相结合的方法调查这5种小生境下的植物群落组成,以重要值作为变量来计算物种多样性指数并排序。共26个地点,约234 m<sup>2</sup>的样方。结果显示在农渔耕的背景下,水位高低及光照等自然因子对植物组成具有一定的选择作用。强光高基生境物种丰富度最高,其中本土、木本和豆科植物数量最多,而入侵种、湿生物种数量最低,强光低渚生境的情况正好相反。强光高基生境有利于保持本土植物多样性,降低入侵种的竞争能力,但不利于湿地植物的存在,强光低基有中度本土植物多样性及抵御入侵种的能力,有较大的草本比例和湿地植物比例,是一个保持良好的湿地环境。有利于湿地植物的低湿生境目前在西溪比例较低,湿地植物偏少,这主要与西溪先前人类从事农业和渔业活动有关。在去除影响景观、影响本土物种多样性的入侵种的同时,可考虑增加低湿的生境,并补种湿地物种。

**关键词** 生物多样性 入侵物种 群落组成 DCA 排序 功能群 西溪湿地

## RELATIONSHIPS OF PLANT COMPOSITION, WATER LEVEL AND SOLAR RADIATION IN XIXI WETLAND, HANGZHOU, CHINA

SHEN Qi<sup>1,2</sup>, LIU Ke<sup>3</sup>, LI Shi-Yu<sup>1</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>, JIANG Yue-Ping<sup>4</sup>, GE Ying<sup>1</sup>, and CHANG Jie<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China, <sup>2</sup>Zhejiang Education Institute, Hangzhou 310012, China, <sup>3</sup>Zhejiang Institute of Environment Protection & Design, Hangzhou 310007, China, and <sup>4</sup>Xixi National Wetland Park, Hangzhou 310013, China

**Abstract Aims** Xixi wetland is located at the outskirts of Hangzhou, eastern China. Under the influences of human residents, farming and fishing activities for more than one thousand years, Xixi has changed to secondary farming wetland with 70% of the area covered by open water interfaced by narrow dikes and large islets. Urbanization and industrialization during the last 20 years has rapidly shrunken Xixi. We investigated species composition of vascular plants in Xixi to explore: 1) relationships between species composition and habitats, 2) species which should be protected in the restoration of Xixi and methods for their protection, 3) favorable habitats for native and wetland species, and 4) occurrence and effects of invasive exotic species in different habitats and methods for their control.

**Methods** The herbaceous habitats of Xixi were classified into five types based on plant composition, water level, and solar radiation: blazing high dike (BHD), shading high dike (SHD), blazing low dike (BLD), blazing high islet (BHI), and blazing low islet (BLI). Community composition of the five habitats was studied by quadrat sampling method. Important values (IV) were used to calculate diversity indices and DCA ordination. A total of 26 sites with 234 m<sup>2</sup> quadrats were sampled in this study.

**Important findings** There were 119 vascular species belonging to 103 genera and 44 families. Among them, 108 species were native, 11 were invasive exotic; 50 were wetland plants; 6 were legumes, and 35 were grasses or grasses relatives. Results showed that BHD, SHD, BLD, BHI had greater plant species richness than BLI, and BHD had the greatest native species and woody species richness. Invasive exotic species and wetland plant species were prevalent in BLI, and common in BHD, SHD, BLD and BHI. BHD may be in favor of the protection of native species, and may be good for resisting the invasion of exotic species, but may be an unfav-

avorable habitat for wetland plants, BLI was reversed. BLD could maintain moderately native plant species richness and had higher proportions of herbs and wetland plant species. Therefore, well-managed BLD should be emphasized in Xixi for protection and enhancement of native vegetation diversity and wetland plant species richness. The invasive exotic species, such as *Alternanthera philoxeroides*, which were harmful to the landscape or harmful to maintain native species diversity, must be removed periodically.

**Key words** species diversity, invasive exotic species, community composition, DCA ordination, functional groups, Xixi wetland

湿地位于水陆交界处,是在水陆交互作用下形成的独特的生态系统。湿地在保护生物多样性、涵养水源、净化水体、蓄洪防洪、提供休闲旅游场所等方面起着极其重要的作用。目前湿地的研究主要侧重在湿地生物资源调查分析(Jiang *et al.*, 2002; 郎惠卿等, 1999; 陈久和, 2003; Boutin *et al.*, 2003)、服务功能分析(Tong *et al.*, 2007)及生态修复(Mitsch, 2005)等3个方面上,而湿地植物资源的调查分析是其它研究的基础。

湿地有多种类型,有自然、半自然的,也有完全人工的。在发展中国家,人口多土地少,为了获取生态系统的直接效益,许多湿地被改造,不再是湿地或者无典型的湿地植被。中国南方几千年的农耕文化中,常常在湿地中发展种养殖业,形成了世界著名的桑基鱼塘等生态模式(王如松和蒋菊生, 2001)。杭州西溪湿地就是在古河滩遗存的基础上,又在千余年人类农渔耕活动影响下形成的城市边缘次生湿地,介于河流湿地与人工湿地(陆健健, 2006)之间,属于半人工湿地。

近20多年来,由于工业化和城市化,杭州西溪湿地的面积已由原来的60 km<sup>2</sup>萎缩到现在的不足12 km<sup>2</sup>(陈久和, 2003)。如果不将保护提上日程,这点残存的面积也将不复存在。

本研究旨在报道这类特殊湿地的群落物种多样性并试图回答下列问题:1)就植物组成而言,与自然湿地相比,西溪有哪些特殊性?2)在湿地修复中需要保护哪些物种?如何保护?什么样的小生境利于保护本地植物多样性?3)入侵种在各种小生境中出现的频度和作用有否差别?如何防控?4)湿地植被恢复时如何培植湿地生境?

## 1 材料和方法

### 1.1 研究样地自然概况

本研究在杭州西溪国家湿地公园(保护区一期,现已开园)及其东部地区(保护区二期,修建工作即将展开)内进行,总面积约为11.15 km<sup>2</sup>。

稻-桑(柿)-鱼-蚕、自给自足的农业模式是西溪

的一大特色。首先低洼地被开挖成鱼塘,供家庭承包,鱼塘基上种有垂柳(*Salix babylonica*)、固堤、柿树(*Diospyros kaki*)、桑(*Morus alba*)和早园竹(*Phyllostachys propinqua*)等,而在地势较高、面积较大的连续地块(即本文中的渚)上则种植农作物(主要是水稻(*Oryza sativa*)),还有蔬菜等)或为村舍,一些地势低的漫滩则为芦苇(*Phragmites australis*)等占据(因为经常被水淹,农作物收获不能得到保证,所以弃耕)。与农田相比,西溪的水域面积占总面积的70%以上,而与自然湿地相比,它又非常特殊:首先,鱼塘约占整个西溪水域面积的60%左右,目前这些人工的鱼塘与河流、湖漾、沟汊等共同构成西溪湿地的水环境,陆地则以狭窄的塘基和面积较大的渚为主,相间在水系中;其次,很多基和渚的地势高,较少受到水文的影响,已构成了中生的环境。据此,称杭州西溪湿地为次生的城市边缘湿地(陈久和, 2003)。

陈久和(2003)已对该区域的历史变迁、气候和土壤作了较为详尽的描述,本文不再赘述。本文调查时该区域有13 000多常住人口和近万名暂住人口,约合2 000人·km<sup>-2</sup>,人为活动影响较大。

整个西溪湿地植被以草本为主,也有一些乔木和灌丛,在基上常见有垂柳、柿、桑、早园竹(在此将其归于木本)等种植。还有海州常山(*Clerodendrum trichotomum*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、野蔷薇(*Rosa multiflora*)等灌丛。苦楝(*Melia azedarach*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)等一般是自然生长未被伐除的乔木。

### 1.2 调查方法

本研究针对西溪湿地岸上、岸边的维管植物进行。经过对全区域的初步调查,发现由于过去人们的利用方式不同,造成了基(Dike)和渚(Islet)的区别(图1):1)形状大小不同,基呈狭长条带状(宽1~3 m,上有人们踩踏出来的狭路,现公园内的许多游步道即是在此基础上加宽修建而成),渚则为面积较大的方形地块。2)水文状况不同,如有些基的地势较高,趋向于中生环境,其上木本植物较多,它们的年

龄在几十年以上 ;有些基则地势低( 低湿生环境 )。而渚大都曾被开垦为农田( 中生环境 ) ,或在近 10 年中弃耕 ,恢复为芦苇、荻( *Miscanthus sacchariflours* )等少数种占优势的滩地( 地势低 ,湿生环境 ) ,渚上木本植物极少。基或渚或许会对植物的分布有选择作用 ,因此我们首先将西溪湿地的小生境分为基和渚两类。

我们以距离水位高低的不同划分为高基(  $\geq 2.0$  m ,偏中生 )和低基(  $\leq 1.0$  m ,偏湿生 ,常受到湿地水分的影响 )两类。同理 ,将渚分为高渚和低渚两类。另外 ,根据基上生长的高大木本植物的密度不同 ,将光照情况分为两种 :光照条件好的为强光照生境 ;有遮荫、光照条件不好的为弱光生境。西溪湿地小生境的 5 种类型( 5 种层次 )如表 1 所示。

表 1 西溪湿地 5 种小生境的类型、特征描述及取样数量		
Table 1 Habitat types , characteristics and numbers of replicated quadrates in Xixi wetland , Hangzhou		
生境类型 Habitats	特征描述 Character description	样方重复数量 Numbers of replicated quadrates
光照强地势高的基( 强光高基 ) Blazing high dike( BHD )	宽 1 ~ 3 m、长 $\geq 10$ m 狭长条带 ,强光照 ,垂直距离水面 $\geq 2.0$ m Long narrow strip ; 1 ~ 3 m in width , more than 10 m in length ; blazing ; vertical-ly equal to or more than 2 m high from ground water level	5
光照强地势低的基( 强光低基 ) Blazing low dike( BLD )	宽 1 ~ 3 m、长 $\geq 10$ m 狭长条带 ;强光照 ,垂直距离水面 $\leq 1.0$ m Long narrow strip ; 1 ~ 3 m in width , more than 10 m in length ; blazing ; vertical-ly equal to less than 1.0 m high from ground water level	5
光照弱地势高的基( 弱光高基 ) Shading high dike( SHD )	宽 1 ~ 3 m、长 $\geq 10$ m 狭长条带 ,有遮荫 ,垂直距离水面 $\geq 2.0$ m Long narrow strip ; 1 ~ 3 m in width , more than 10 m in length ; shading ; verti-cally equal to or more than 2 m high from ground water level	4
光照强地势高的渚( 强光高渚 ) Blazing high islet( BHI )	面积较大 ,成方形的地块 ,强光照 ,垂直距离水面 $\geq 2.0$ m Large squares ; blazing ; vertically equal to or more than 2 m high from ground wa-ter level	6
光照强地势低的渚( 强光低渚 ) Blazing low islet( BLI )	面积较大 ,成方形的地块 ,强光照 ,垂直距离水面 $\leq 1.0$ m Large squares ; blazing ; vertically equal to less than 1.0 m high from ground water level	6

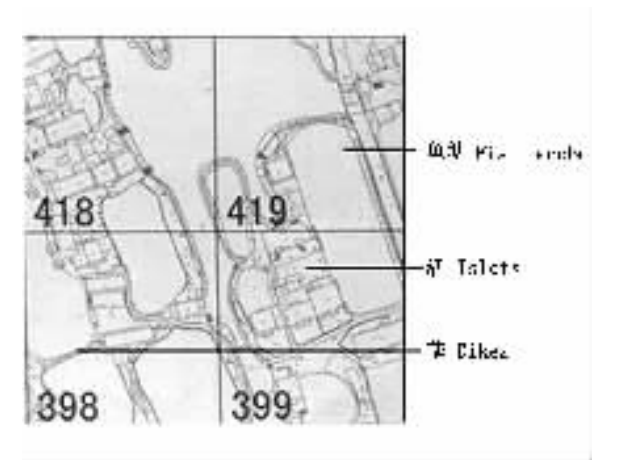


图 1 西溪湿地的部分示意图  
Fig.1 Part of the map of Xixi wetland , Hangzhou  
截取的是第 398、399、418 和 419 号地块 ,每块为正方形 ,面积为 1 hm<sup>2</sup> The plots were No. 398 , 399 , 418 and 419 , Each plot is a square and its area is 1 hm<sup>2</sup>

在对 5 种小生境进行全面考察的基础上 ,对每个生境类型采取随机采样( Random sampling )的方法 ,随机选取 4 ~ 6 个地点 ,用 1 m  $\times$  9 m 的样方调查 ,记录样方的地势高低、光照条件 ,所有植物种的名称、盖度、高度和多度等指标。即采用分层和随机

相结合的方法 ,调查了 26 个地点 ,约 234 m<sup>2</sup>( 表 1 ) ,调查于 2003 年 11 月进行。

### 1.3 统计分析

物种多样性的测度包括( 方精云等 ,2004 ;雷霆等 ,2006 ) :1 ) 物种丰富度  $S$  ,即 9 m<sup>2</sup> 样方内的平均物种数量 ;2 ) Shannon-Wiener 指数  $H'$  ,  $H' = - \sum P_i \ln P_i$  ;3 ) 均匀度指数  $J'$  ,  $J' = H' / \ln S$  ,式中 :  $P_i$  为种  $i$  的重要值(  $IV$  ) ,  $IV_i = \text{相对盖度} + \text{相对高度} + \text{相对频度}$ 。在西溪湿地 ,植物对高度、也即对光照的竞争非常明显 ,因此 ,我们用相对高度作为重要值计算的一个方面。统计分析为方差分析( ANOVA )中的平均值多重比较( Boutin *et al.* , 2003 )。采用 Pcord4( PC-ORD 第 4 版 )软件包中的 DCA( Detrended correspondence analysis ,除趋势对应分析 )( Hill & Gauch , 1980 )程序进行排序 ,其中的变量为  $P_i$ ( 种  $i$  的重要值 )。

## 2 结果与分析

### 2.1 西溪湿地及其 5 种小生境下的植物群落物种组成

5 种小生境 26 个地点中共调查到维管植物 119 种( 浙江植物志编委会 ,1993 ) ,其中蕨类 3 种 ,分别是 鳞毛蕨( *Dryopteris* sp. ) 海金沙( *Lygodium japonicum* )和井栏边草( *Pteris multifida* ) ,被子植物 116 种 ,它们隶属于 41 科 ,100 属。本土植物 108 种 ,入侵植物 11 种( 李振宇和解焱 ,2002 ;浙江植物志编委会 ,1993 ) 。从生态类型上看 ,湿地植物 50 种( 郎惠卿等 ,1999 ) ,非湿地植物 69 种。按照功能群分类( Paine & Ribic ,2002 ) :74 种是非豆科双子叶植物 ,隶属于 34 科 ,其中阔叶类草本 57 种 ,木本 17 种 ,35 种是禾草及类禾草 ,隶属于 6 科 ;豆科草本植物 6 种。

各种生境中出现频度最高的前 8 种植物见表 2。它们大多是常见的、对人类影响不敏感的乡土植物( 郑朝宗 ,2005 ) 。其中至少在 4 种生境中频度都

较高的是喜旱莲子草( *Alternanthera philoxeroides* ) 、鸡矢藤( *Paederia scandens* ) 、爵床( *Rostellularia procumbens* ) ,但喜旱莲子草在强光高基上分布较少、鸡矢藤在弱光环境下分布较少、爵床在湿度较大处分布较少 ,其次是狗牙根( *Cynodon dactylon* ) 、丝茅( *Imperata koenigii* ) 和显子草( *Phaenosperma globosa* ) ,狗牙根在弱光和湿度较大处分布较少 ,显子草比较喜湿。木本构树、忍冬、野蔷薇和草本荇草( *Arthraxon hispidus* ) 、牛膝( *Achyranthes bidentata* ) 等在基上分布较多 ,狗尾草在阳性中生环境中分布较多。低渚上大多为湿生植物 ,如芦苇、苔草( *Carex dimorpholepis* ) 、水蓼( *Polygonum hydropiper* ) 等 ,看来在西溪 ,光照强弱和水位的高低对于植物具有一定的选择作用。

以重要值(  $\sum P_i = 3$  )反映各类植物所起的作用

表 2 西溪湿地 5 种小生境中出现频率最高的 9 种植物  
Table 2 The most common species in the five habitats of Xixi wetland , Hangzhou

	强光高基 BHD	弱光高基 SHD	强光低基 BLD	强光高渚 BHI	强光低渚 BLI
喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>		✓	✓	✓	✓
鸡屎藤 <i>Paederia scandens</i>	✓		✓	✓	✓
爵床 <i>Rostellularia procumbens</i>	✓	✓	✓	✓	
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	✓		✓	✓	
丝茅 <i>Imperata koenigii</i>		✓	✓	✓	
显子草 <i>Phaenosperma globosa</i>		✓	✓		✓
铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>		✓		✓	
牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i>	✓	✓			
荇草 <i>Arthraxon hispidus</i>	✓	✓			
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	✓	✓			
野塘蒿 <i>Conyza bonariensis</i>				✓	✓
忍冬 <i>Lonicera japonica</i>	✓		✓		
石芥 <i>Mosla scabra</i>	✓				✓
野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i>		✓	✓		
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	✓			✓	
垂穗苔草 <i>Carex dimorpholepis</i>					✓
芦荻 <i>Miscanthus sacchariflorus</i>			✓		
芦苇 <i>Phragmites australis</i>					✓
水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>					✓
杠板归 <i>Polygonum perfoliatum</i>					✓

BHD、SHD、BLD、BHI、BLI :见表 1 See Table 1

如表 3 所示。其中本土植物的作用以基上为高 ,超过 90% ,而渚上较低 ,约为 80%。阔叶类草本植物在两种渚生境中所起的作用较大 ,接近 50% ,在各种小生境中 ,禾草类及豆科植物所起的作用差异不显著。草本植物总体所起的作用以强光高基为最低 ,为 76% 左右 ,以强光高渚为最高 ,接近 97%。

各种小生境中物种丰富度、草本中各功能群的物种数量、本土植物、湿地植物的数量等归结为表 4。由表 4 可知 ,在这 5 种小生境中 ,总的物种丰富度以强光高基为最高 ,强光低渚为最低 ,两者差异显著(  $p < 0.05$  ,下同 ) ,另外 3 种小生境的物种丰富度居中 ,其间差异不显著 ,但它们与前两者均存在显著

差异。从功能群来看,高渚生境的阔叶类草本植物显著多于低渚生境的,强光高基、强光低基、强光高渚的禾草类丰富度显著高于弱光高基的,草本豆科植物的数量在各种小生境中都较少。就本土植物丰富度而言,强光高基平均每 9 m<sup>2</sup> 中约有 21 种,显著高于其它 4 种小生境,而强光低渚的最低,与其它 4 种小生境差异显著,另外 3 种生境的居中,其间无显

著差异,位置低或光照弱的基,9 m<sup>2</sup> 中约为 15 ~ 16 种,低渚中则为 8.7 种。

入侵种最多的是强光高渚,最低的是强光低基,两者差异显著。对草本植物的丰富度分析,强光低渚的显著低于强光高基、强光低基和强光高渚的。而非草本植物则是基生境显著高于渚生境。湿地植物数量在 5 种生境中无显著差异。

表 3 西溪湿地 5 种小生境中植物群落组成成分的重要值分布 ( $p < 0.05$ )  
Table 3 Important value (IV) of functional groups in the 5 habitats of Xixi wetland, Hangzhou ( $p < 0.05$ )

重要值 IV	全部样方 Total	强光高基 BHD	弱光高基 BHD	强光低基 BLD	强光高渚 BHI	强光低渚 BLI
阔叶类草本植物 Forbs	1.24 ± 0.43	0.88 ± 0.18 <sup>b</sup>	1.23 ± 0.29 <sup>b</sup>	0.95 ± 0.39 <sup>ab</sup>	1.55 ± 0.40 <sup>a</sup>	1.53 ± 0.27 <sup>a</sup>
禾草及类禾草 Grasses or grasses relatives	1.25 ± 0.36	1.14 ± 0.33	1.10 ± 0.25	1.48 ± 0.37	1.38 ± 0.33	1.21 ± 0.42
豆科植物 Legumes	0.07 ± 0.11	0.17 ± 0.16	0.03 ± 0.062	0.08 ± 0.17	0.05 ± 0.05	0.02 ± 0.050
本土植物 Native	2.59 ± 0.24	2.79 ± 0.14 <sup>a</sup>	2.81 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.75 ± 0.033 <sup>a</sup>	2.43 ± 0.16 <sup>b</sup>	2.29 ± 0.11 <sup>b</sup>
入侵菊科植物 Invasive exotic species of Compositae	0.22 ± 0.17	0.15 <sup>b</sup> ± 0.12 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.13 <sup>bc</sup>	0.09 ± 0.094 <sup>c</sup>	0.29 ± 0.16 <sup>ab</sup>	0.38 ± 0.17 <sup>a</sup>
入侵喜旱莲子草 Invasive <i>Alternanthera philoxeroides</i>	0.18 ± 0.14	0.04 ± 0.041 <sup>d</sup>	0.07 ± 0.062 <sup>cd</sup>	0.16 ± 0.076 <sup>bc</sup>	0.23 ± 0.15 <sup>ab</sup>	0.34 ± 0.098 <sup>a</sup>

数据为平均值及其标准偏差,不同的上标字母表示差异显著,没有字母表示差异不显著(多重比较,  $p < 0.05$ ) Data were mean values and standard deviations, different letters indicated significant differences by multiple comparison ( $p < 0.05$ ) BHD, SHD, BLD, BHI, BLI :见表 1 See Table 1

表 4 西溪湿地 5 种小生境中各类型植物的平均数量(物种丰富度)及其显著性分析 ( $p < 0.05$ )  
Table 4 Average number of species per site (species richness) among 5 habitats of Xixi wetland and their statistical analysis ( $p < 0.05$ )

物种数(种) Species number	强光高基 BHD	弱光高基 SHD	强光低基 BLD	强光高渚 BHI	强光低渚 BLI
总物种数 Overall	23.8 ± 6.14 <sup>a</sup>	17.7 ± 4.03 <sup>b</sup>	18.0 ± 1.22 <sup>b</sup>	16.8 ± 4.07 <sup>b</sup>	11.2 ± 3.19 <sup>c</sup>
阔叶类草本 Forbs	9.6 ± 3.21 <sup>a</sup>	8.7 ± 3.09 <sup>ab</sup>	7.4 ± 2.41 <sup>ab</sup>	9.8 ± 3.71 <sup>a</sup>	6.3 ± 1.63 <sup>b</sup>
禾草类 Grasses	6.8 ± 2.77 <sup>ab</sup>	3.2 ± 0.96 <sup>c</sup>	7.0 ± 2.35 <sup>a</sup>	5.0 ± 0.89 <sup>ab</sup>	3.7 ± 2.50 <sup>bc</sup>
豆科植物 Legumes	1.0 ± 0.71 <sup>a</sup>	0.5 ± 0.58 <sup>ab</sup>	0.4 ± 0.55 <sup>ab</sup>	0.5 ± 0.55 <sup>ab</sup>	0.2 ± 0.41 <sup>b</sup>
本土物种 Native species	21.0 ± 4.74 <sup>a</sup>	15.2 ± 3.86 <sup>ab</sup>	16.2 ± 1.48 <sup>b</sup>	13.2 ± 3.13 <sup>b</sup>	8.3 ± 2.58 <sup>c</sup>
入侵种 Invasive exotic species	2.8 ± 2.17 <sup>ab</sup>	2.5 ± 1.29 <sup>ab</sup>	1.8 ± 0.84 <sup>b</sup>	3.7 ± 1.03 <sup>a</sup>	2.5 ± 0.55 <sup>b</sup>
木本植物 Woody plants	5.4 ± 1.52 <sup>a</sup>	4.2 ± 1.26 <sup>a</sup>	3.2 ± 2.77 <sup>ab</sup>	0.7 ± 0.82 <sup>b</sup>	1.2 ± 0.75 <sup>b</sup>
湿地植物 Wetland species	6.4 ± 1.14	5.2 ± 2.63	8.4 ± 3.58	7.3 ± 2.80	6.2 ± 3.12

表注同表 3 Notes see Table 3 BHD, SHD, BLD, BHI, BLI :见表 1 See Table 1

2.2 西溪湿地及其 5 种小生境下的物种多样性

西溪湿地整体及其 5 种小生境下的多样性指数以及本土植物的贡献如表 5 所示。西溪湿地整体的均匀度指数为 0.91,可见植物种类大体上分布趋于均匀。Shannon-Wiener 指数为 2.54,去除入侵种后,本土植物的 Shannon-Wiener 指数为 2.20。就西溪湿地 5 种小生境类型而言,强光高基的 Shannon-Wiener 指数显著地高于渚生境的,强光低渚显著低于强光高基、强光低基,其它生境之间无显著差异,均匀度指数在各个小生境之间差异不显著。就本土植物的作用来说(本土植物的 Shannon-Wiener 指数),基生境显著地高于渚生境,高渚又高于低渚,且差异显著。

2.3 西溪湿地小生境和物种的排序

首先对所有样地及所有物种排序(图 2A、B)。从图 2A 来看,位置高的基大多集中在轴 1 的中心偏左面,位置低的基集中在轴 1 的中心偏右面,位置高的渚大多集中在轴 2 的上半部,并偏右,位置低的渚多在轴 2 的下半部,并偏左,低渚与高渚的界限较明显,但基与渚、光照强与弱的界限并不明显。

从图 2B 中轴 1 来看,像各类莎草(*Cyperus* sp.)、水龙(*Ludwigia peploides* ssp. *stipulacea*)、盒子草(*Actinostemma tenerum*)等分布在它的右面,而这些植物常分布在湿润的生境中,像黄鹌菜(*Youngia japonica*)、荔枝草(*Salvia plebeia*)、黑麦草(*Lolium perenne*)等分布在轴 1 的左面,而它们常分布于中生的生境,

因此可以推断 轴 1 反映了生境水分由少到多的变化趋势。就轴 2 来看,像蓬 ( *Rubus hirsutus* ) 络石 ( *Trachelospermum jasminoides* ) 乌桕( *Sapium sebiferum* ) 薜荔( *Ficus pumila* )等集中在它的下部,而这些植物常分布在林下或光照较弱处,或是森林中的物种;像紫云英( *Astragalus sinensis* ) 稗( *Echinochloa crusgalli* ) 马兰( *Kalimeris indica* )和羊蹄( *Rumex japonicus* )等集中在轴 2 的上面,而这些植物通常分布在田间地头,光照较强处。因此 轴 2 反映了生境由林下向开阔地过渡的趋势,或者说是光照由弱到强的趋势。轴 1 的特征值为 0.519 轴 2 的特征值为 0.424。两者合计为 0.943,轴 1 和轴 2 能够代表生态因子的两个主要方面。

2.4 西溪湿地入侵物种的分析

在总共 11 种入侵植物中,双子叶为 10 种,单子叶 1 种,即黑麦草。入侵植物主要有两大类,一类是菊科植物,如野塘蒿( *Conyza bonariensis* ) 钻形紫菀 ( *Aster subulatus* ) 大狼把草( *Bidens frondosa* )和蓬类 (一年蓬( *Erigeron annuus* )和加拿大蓬( *Conyza canadensis* ));另一类为喜旱莲子草。它们在各种生境中都有入侵,尤其是距离水面比较近的或光照较强的渚上。在渚上它们的作用约为 20%,其中喜旱莲子草又起了接近一半的作用。

以去除入侵植物后对样地和物种进行排序(图 3A,B)。与图 1 比较,可见图 2 的样地总体上稍微分散一些,并稍向右移,说明入侵植物在群落内起到一定的作用。

表 5 西溪湿地及其 5 种小生境中物种多样性的比较(显著性检验只在 5 个生境间进行,  $p < 0.05$ )  
Table 5 Species diversity and comparison of species diversity among 5 habitats of Xixi wetland (Comparison were only conducted the 5 habitats,  $p < 0.05$ )

生境 Habitats	整块湿地 Whole Xixi	强光高基 BHD	弱光高基 SHD	强光低基 BLD	强光高渚 BHI	强光低渚 BLI
Shannon-Wienes 指数 $H'$	2.54 ± 0.35	2.92 ± 0.31 <sup>a</sup>	2.53 ± 0.38 <sup>ab</sup>	2.66 ± 0.10 <sup>ab</sup>	2.49 ± 0.25 <sup>bc</sup>	2.20 ± 0.29 <sup>c</sup>
均匀度指数 $J$	0.91 ± 0.047	0.93 ± 0.041	0.88 ± 0.097	0.92 ± 0.018	0.89 ± 0.039	0.92 ± 0.021
本土植物的 $H'$ $H'$ of native species	2.20 ± 0.431	2.67 ± 0.304 <sup>a</sup>	2.43 ± 0.247 <sup>a</sup>	2.44 ± 0.089 <sup>a</sup>	1.98 ± 0.123 <sup>b</sup>	1.63 ± 0.215 <sup>c</sup>

表注同表 3 Notes see Table 3 BHD、SHD、BLD、BHI、BLI 见表 1 See Table 1

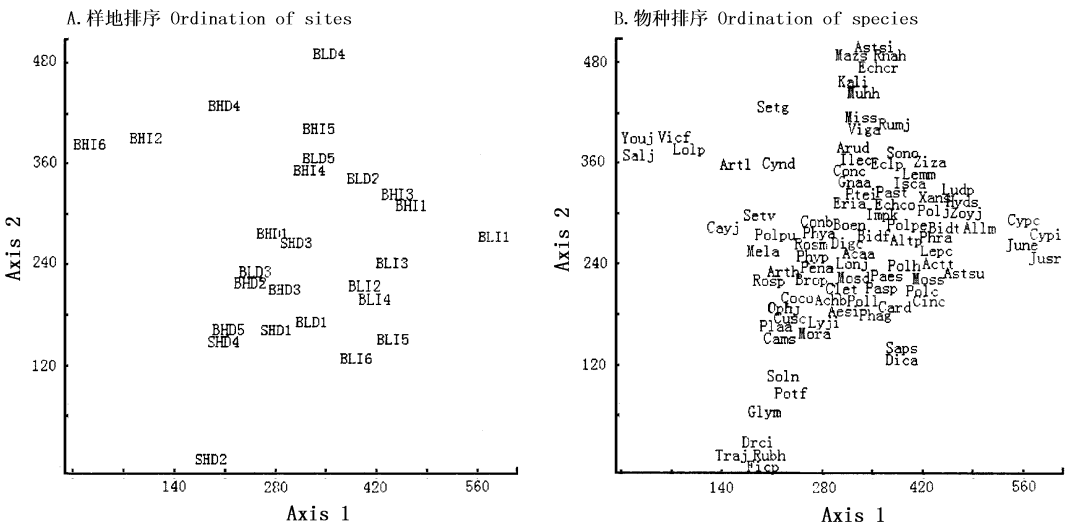


图 2 西溪湿地 5 种小生境中所有物种的排序

Fig.2 Ordination of 5 habitats and all species in Xixi wetland

A. 样地排序,符号含义同表 1 Ordination of Sites, for abbreviations see Table 1 B. 所有物种的排序 Ordination of all species 种名缩写为属名的前 3 个字母加种加词的第一个字母(若遇到相同的,则为种加词的第一和第二个字母) Abbreviations stand for genus and species (first three letters for genus name and the fourth (or the fifth stand for the species name))

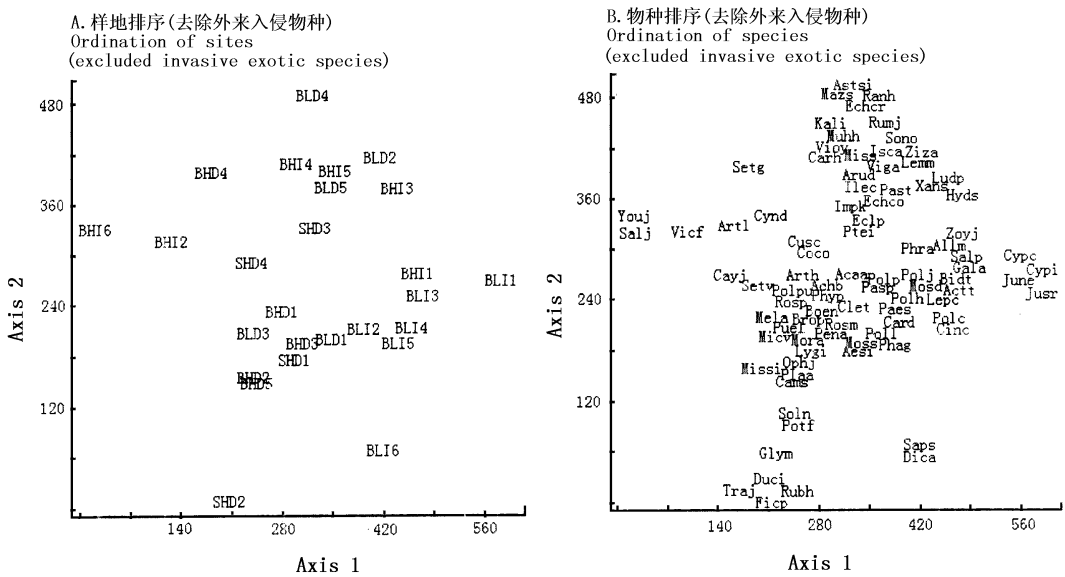


图 3 西溪湿地 5 种生境本土物种的排序

Fig.3 Ordination of 5 habitats and native species of the communities in Xixi wetland

A. 样地排序 Ordination of sites B. 所有本土物种的排序 Ordination of all native species of the communities 缩写同图 2 Abbreviations see Fig.2

3 讨 论

西溪湿地的现存植被是人为和自然因素长期共同作用的结果。人类的影响起了关键性的作用,但不同的自然因子(光照和土壤水分等)对植物的组成也有一定的选择作用。由于人类的种植和一定程度的干扰(如踩踏)以及植物自身的生长与演替,使得地势高的基上物种丰富度和本土植物丰富度都较高。其中的柿、竹和梅等中生植物已与湿生的芦苇、荻等共同构成西溪的特色。目前在西溪已经修建和将要修复的地块中,这些植被及其生境已被保护或将被保护,因此本文所列的这种生境类型仍有意义。

在西溪湿地的 5 种生境中,同样面积的鱼塘窄基上比宽阔的渚上拥有更高的植物多样性,主要是演替初期短生活史的干扰策略种类。位置高水位低光照强的基拥有最多的物种,这些种类主要以中生植物为主。各种基上(除了地势最高与最低的基外)随着水位高低、光照强弱的逐渐过渡,物种组成较为相似,各指标差异不大。在光照较弱的地方则是双子叶植物的比例最高。在本文调查前地势高的渚还种植着农作物,或者弃耕 10 年左右,所以以田间杂草最为常见,但物种多样性不高,这是竞争后秩序重建的结果,与 Kleijn 和 Verbeek(2000)及 Kleijn(2003)的研究结果一致。地势低的渚水位较高,以湿生的芦苇、荻以及显子草、喜旱莲子草、水蓼等少数植物占优势,由于它们的强势生长,限制了其它物种的分

布,因此物种丰富度最低。就各个渚来说,由于有水的隔离,它们之间的物种组成有一定的差别,但低湿的渚之间的差别小于地势高的渚。

本土植物与外来种的分布生境没有明显差别,但不同外来种或入侵种在空间上有所侧重,像喜旱莲子草在水中或距离水比较近的陆地上入侵较多,在相对中生的环境中分布较少,但有向中生环境扩散的趋势,这与林金成和强胜(2006)研究结果一致。入侵的菊科植物总体来说是阳性、撂荒地上的先锋植物,因此它们在比较空旷光照较强的地方分布较多。在西溪,为了得到更多的光照,植物在高度方面的竞争非常明显。与芦苇、荻以及一些木本植物相比,入侵种在高度上不占有优势,它们的重要值也就相应下降,因此由重要值进一步计算得到的多样性和排序数据显示入侵种有一定的作用,但目前的影响还不是非常大。不过入侵种出现的频度还是比较高,加上它们的适应性、繁殖力、传播力特别强(李振宇和解焱,2002;林金成和强胜,2006),预计它们有快速扩散、占据优势的潜力,这会降低生物多样性并影响景观,所以必须引起重视,定期将它们清除。

与附近的江苏(王云静等,2002)、上海(唐承佳和陆健健,2003;杨永川等,2003)和相近纬度的三峡(Jiang et al., 2002)等处的湿地相比,西溪湿地的植物多样性不算低,但属于湿地的物种较少。即使在水边,典型的挺水植物和湿生植物分布也较少(本土湿地植物占全部物种的比例在低基上和渚上为

42%左右,挺水植物又仅占本土湿地植物的 20%),常见的挺水植物只有芦苇、荻、芦竹(*Arundo donax*)、水蓼和栽培的菰(*Zizania caduciflora*)等少数几种。从木本植物和中生性的植物较为丰富,而湿地植物不多这一点来看,可以认为西溪湿地现阶段的植被尚不是成熟的湿地植被。

西溪湿地已经不再从事农业生产,渔耕仅作为文化及历史的存留。但不同的时间段及管理水平下植被组成会有所变化。2007 年 4 月我们在考察西溪湿地时,发现其中变化最大的是地势高的渚,如在公园内,原来的农田或村舍已被许多中生性的观赏植物所取代,与杭州其它公园植物的配置相比多有雷同。其次有变化的是地势低的渚,原先的高大芦苇、芦竹(超过 2 m)等已大多被收获,重新种植了高度在 1 m 左右的芦苇、荻和其它一些湿生植物,如泽泻(*Alisma* sp.)、水葱(*Scirpus tabernaemontani*)、菰、鸢尾(*Iris* sp.)等,但湿地植物种类和面积仍偏少。在今后的修复中应适当增加低湿的湿生生境,如形成一些浅滩、低基等,同时可增加一些典型的湿地植物,以及对防止水土流失、净化水质有益的植物,如香蒲(*Typha* sp.)、菖蒲(*Acorus* sp.)、灯心草(*Juncus* sp.)等(蒋跃平等,2004)。这也与亲近湿地、亲近水的建园初衷相一致(本文写作时公园里已陆续有些种植)。再次是基生境,随着步行道的建成,基中间的植被会减少,如果没有人为的砍伐等干扰,基两侧的植物将自然发展,随着郁闭度的提高,植被会更接近森林,对于草本植物来说,光照弱的生境面积将增加。

我们认为大水面、浅滩、低基丰富的湿地物种等湿地特色更加凸现,生物多样性在量和质上都有所提高,应是今后西溪湿地修复和改善的主要目标。

## 4 结 论

在渔耕改造后,西溪湿地内形成了多种相对稳定的小生境,强光高基这种中生生境有利于保持本土植物物种多样性,降低入侵种的竞争能力,因此需要适当保持,强光低基这种狭窄的湿润生境有中等程度的本土植物多样性及抵御入侵种的能力,有较大的草本植物比例和湿地植物比例,是需要加强保护和维持的生境。位置低的生境有利于湿地植物的保护,如强光低基和渚,但要注意去除喜旱莲子草等有害入侵种,减少其危害。西溪湿地已经不再从事农业生产,而仅作为文化及历史的存留。在西溪湿地二期修复工作即将展开之际,我们希望相关的

管理和设计者能够更多地“在湿地”上做文章,使西溪湿地的服务价值得到更充分的体现。

## 参 考 文 献

- Boutin C., Jobin B., Bélanger L. (2003). Importance of riparian habitats to flora conservation in farming landscapes of southern Québec, Canada. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 94, 73–87.
- Chen JH (陈久和) (2003). Study on the fragility of eco-environment of the edge of the city: using the Xixi Wetland as an example. *Bulletin of Science and Technology* (科技通报), 19, 395–402. (in Chinese with English abstract)
- Editorial Board of Flora of Zhejiang (浙江植物志编委会) (1993). *Flora of Zhejiang* (浙江植物志). Zhejiang Science and Technology Publishing House, Hangzhou. (in Chinese)
- Fang JY (方精云), Shen ZH (沈泽昊), Tang ZY (唐志尧), Wang ZH (王志恒) (2004). The protocol for the survey plan for plant species diversity of China's mountains. *Biodiversity Science* (生物多样性), 12, 5–9. (in Chinese with English abstract)
- Hill M., Gauch H (1980). Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio*, 42, 47–58.
- Jiang MX, Deng HB, Cai QH (2002). Characteristics, classification and ordination of riparian plant communities in the Three-Gorges areas. *Journal of Forestry Research* (林业研究), 13, 111–114.
- Jiang YP (蒋跃平), Ge Y (葛滢), Yue CL (岳春雷), Chang J (常杰) (2004). Nutrient removal role of plants in constructed wetland on sightseeing water. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 24, 1720–1725. (in Chinese with English abstract)
- Kleijn D (2003). Can establishment characteristics explain the poor colonization success of late successional grassland species on ex-arable land? *Restoration Ecology*, 11, 131–138.
- Kleijn D, Verbeek M (2000). Factors affecting the species composition of arable field boundary vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 37, 256–266.
- Lang HQ (郎惠卿), Zhao KY (赵魁义), Chen KL (陈克林) (1999). *Wetland Vegetation in China* (中国湿地植被). Science Press, Beijing, 516–543. (in Chinese)
- Lei T (雷霆), Cui GF (崔国发), Chen JW (陈建伟), Zhang JR (张佳蕊), Chen Y (陈燕), Wang DG (王德国), Chen YJ (陈元君) (2006). Diversity and priority conservation graded wetland vascular plants in Beijing. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 26, 1675–1685. (in Chinese with English abstract)
- Lin JC (林金成), Qiang S (强胜) (2006). Influence of *Alternanthera philoxeroides* on the species composition and diversity of weed community in spring in Nanning. *Journal of Plant Ecology* (Chinese Version) (formerly *Acta Phytocologica Sinica*) (植物生态学报), 30, 585–592. (in Chinese with English abstract)
- Li ZY (李振宇), Xie Y (解焱) (2002). *Invasive Alien Species in China* (中国外来入侵种). China Forestry Publishing House,



Beijing, 1 – 54, 98 – 189. (in Chinese)

Lu JJ (陆健健), He WS (何文珊), Tong CF (童春富), Wang W (王伟) (2006). *Wetland Ecology* (湿地生态学). Higher Education Press, Beijing, 30 – 39. (in Chinese)

Mitsch WJ (2005). Wetland creation, restoration, and conservation: a wetland invitational at the Olentangy River wetland research park. *Ecological Engineering*, 24, 241 – 251.

Paine LK, Ribic CA (2002). Comparison of riparian plant communities under four land management systems in southwestern Wisconsin. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 92, 93 – 105.

Tang CJ (唐承佳), Lu JJ (陆健健) (2003). Studies on plant community on the Jiudian Sha Shoals at the Yangtze Estuary. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 23, 399 – 403. (in Chinese with English abstract)

Tong CF, Feagin RA, Lu JJ, Zhang QF, Zhu XJ, Wang W, He WS (2007). Ecosystem service values and restoration in the urban Sanyang wetland of Wenzhou, China. *Ecological Engineering*, 29, 249 – 258.

Wang RS (王如松), Jiang JS (蒋菊生) (2001). From eco-agriculture to eco-industry: ecological transformation of China’s agriculture. *Review of China Agricultural Science and Technology* (中国农业科技导报), 3(5), 7 – 12. (in Chinese)

Wang YJ (王云静), Liu MS (刘茂松), Xu HQ (徐惠强), An SQ (安树青), Li J (李瑾), Guan YJ (管永健), Chen QF (陈青芳) (2002). Biodiversity of the natural wetlands in Jiangsu Province. *Journal of Nanjing University* (Natural Sciences Edition) (南京大学学报(自然科学版)), 38, 173 – 181. (in Chinese with English abstract)

Yang YC (杨永川), Da LJ (达良俊), Chen KX (陈克霞) (2003). The “kidney” of Shanghai: investigation of biodiversity of Jiangwan wetland. *Journal of Chinese Urban Forestry* (中国城市林业), 1(2), 13 – 16. (in Chinese)

Zheng CZ (郑朝宗) (2005). *Identification Manual for Seed Plants in Zhejiang, China* (浙江种子植物检索鉴定手册). Zhejiang Science and Technology Publishing House, Hangzhou. (in Chinese)

责任编辑：古滨河 责任编辑：刘丽娟