

河段尺度的上海苏州河河岸带综合评价

汪冬冬^{1,2}, 杨 凯^{1,*}, 车 越^{1,2}, 吕永鹏¹

(1. 华东师范大学 环境科学系 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062;

2. 华东师范大学 天童森林生态系统国家野外站, 上海 200062)

摘要: 基于河岸带结构初步构建河段尺度的苏州河河岸带综合评价指标体系, 选取其干流 43 个河段为评价单元, 结合遥感影像解译与实地调研, 构建指标数据库, 度量河岸带综合状况指数 (Riparian Comprehensive Situation Index, RCSI); 基于 ANOVA 分析方法阐释 RCSI 对河段区位及用地类型的响应, 并提出河岸带规划设计及改进策略。结果表明: ① RCSI 分布于 3.79–25.03 范围内, 69.8% 河段处于较差和非常差级别; ② 高于 85% 河段的滨水带及护岸带状况处于较差和非常差级别, 滨水带宽度和护岸类型是其主要影响因素; 大于 50% 河段的近岸带状况处于较差和非常差级别, 不透水面积率和设施丰富度是其关键限制因子; ③ 人类活动强度、城市化进程等原因导致 RCSI 以及多数指标在不同区位和不同用地类型中存在显著差异, 而滨水带宽度、护岸坡度、侵蚀程度、 α 多样性指数和纵向连通性等方面无显著性差异。

关键词: 河岸带; 综合评价; ANOVA 分析; 苏州河

Reach-scale riparian comprehensive assessment for Suzhou Creek, Shanghai

WANG Dongdong^{1,2}, YANG Kai^{1,*}, CHE Yue^{1,2}, LÜ Yongpeng¹

1 Shanghai Key Laboratory of Urbanization & Ecological Restoration, East China Normal University, Shanghai 200062, China

2 Tiantong National Station of Forest Ecosystem, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Abstract: Natural characteristics of riparian zones in China are under destruction and degradation because of urbanization, and this brings a series of environmental problems. Riparian comprehensive assessment is the significant component of riparian zone remediation planning and sustainable management. Reach scale as the smallest scale of riparian comprehensive assessment study has the uniform functional characteristics and homogeneous advantage. Therefore, reach-scale riparian comprehensive assessment is more maneuverable and unified in comprehensive assessment and comparative analysis. The purpose of this paper is to evaluate the current situation of riparian zone and make a comparative analysis among multi-factors in different dimensions. Thus, a method based on riparian comprehensive situation index (RCSI) was proposed for the reach-scale riparian comprehensive assessment. The proposed method included 5 steps. Firstly, listing indexes relevant to riparian zone from the correlated studies; moreover, developing the reach-scale riparian comprehensive assessment index system, and the system, including 4 first-grade indexes and 23 second-grade indexes, is based on horizontal structure of riparian zone (including waterfront zone, revetment zone, buffer zone and nearshore zone) and principles of index selection; furthermore, establishing standards for assessing sub-factors according to field characteristics and experts preferences; fourthly, weighting the indexes and ranking the comprehensive situation of riparian zone to 5 grades (best, better, common, worse and worst) by RCSI; finally, putting forward strategies for adaptive riparian planning and management. A case study implementing the method was performed on riparian zones of Suzhou Creek in Shanghai, whose natural characteristics are under significant destruction and degradation due to rapid urbanization. 43 reaches were selected as the assessment units on the main stream of Suzhou Creek. The results show that: (i) The riparian comprehensive situation of Suzhou Creek is in the “poor” grade with RCSI distributing from 3.79 to 25.03, and no reach is in the “best”

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40871016); 上海市科研资助项目 (08JC1417602; 08JC1408800)

收稿日期: 2009-10-08; **修订日期:** 2010-01-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kyang@re.ecnu.edu.cn

grade, and 69.8% reaches belongs to “worse” or “worst” grade; (ii) River channelization and revetment hardening of Suzhou Creek result in more than 85% reaches of the waterfront and revetment zone status belonging to “worse” or “worst” grade, the width of waterfront zone and type of revetment are the key factors to the grade; (iii) Though 72.1% reaches of the buffer zone status belongs to “common” or “better”, irrational vegetation structure and single species problems are still remained; (iv) Rapid urbanization makes more than 50% reaches of the nearshore zone status belonging to “worse” or “worst” grade, and impervious area ratio and facilities richness degree are the crucial factors to the grade; (v) The results of analysis of variance (ANOVA) reveal that human activity intensity and urbanization are the key forces to cause RCSI and most of other indexes having significant differences in reach location and land use types, while waterfront zone width, revetment slope, erosion degree, α diversity index and longitudinal connectivity have no significant differences; (vi) The results of case study suggest that the proposed method can be used to carry efficiently out the reach-scale riparian comprehensive assessment. What's more, the results of case study may help local authorities better understand the comprehensive situation of riparian zone, and put forward improved strategies for sustainable riparian planning and adaptive management which can better balance riparian development and ecological conservation.

Key Words: riparian zone; comprehensive assessment; ANOVA analysis; Suzhou Creek

河岸带是具有多种生态功能与社会功能的水陆交界区,是水陆间物质、能量和生物的通道。20 世纪 60 年代中期,国外开始关注河岸带功能;70 年代拓展至河岸及其植被的研究;80 年代至今,随着河流保护行动在世界的推广,河岸带的评价、管理与保护随之列入其中^[1-2]。近年来,日本、德国等国开始重视河岸带综合治理与管理,而河岸带综合评价是其重要内容。河岸带综合评价的研究尺度包括流域(或区域)尺度、廊道尺度和河段尺度,其中河段是最小研究尺度。河段具有统一的功能特点和均质的特征,能够体现河岸带综合状况,且便于对比分析,因此,基于河段尺度的河岸带综合评价更加具有可操作性、对比性和统一性^[3]。

在河岸带研究的中前期,相关评价常包含于河流状况评价中,国外以美国、澳大利亚、英国等国的河流状况评价最具代表性^[1],国内部分学者如赵彦伟、张可刚、吴阿娜^[4-6]等亦将河岸带评价融入河流健康评价中。近年,针对河岸带进行单独评价的研究和实践日益增多,澳大利亚的河岸带生态系统服务价值评估(RZES)报告^[7]进行了深入评价,国内的夏继红、熊斯顿、施展、王国玉、陈子珊^[1,8-11]等学者分别从生态河岸带、生态景观、城市河岸生境、自然度、退化度等方面进行河岸带评价研究。此外,国内外河岸带恢复重建的后评估研究日渐深入,评价指标和研究尺度逐步转向综合性指标和流域尺度^[2]。然而,国内外有关河岸带的整体综合评价研究以及评价因子间的差异比较分析并不多见。本文以苏州河河岸带为案例,尝试构建河岸带综合评价指标体系,探讨河岸带综合状况,多维度对比分析评价因子,提出河岸带整治规划及改进策略,以期为河岸带综合整治的规划与管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

苏州河又称吴淞江,位于长江下游三角洲冲积平原北缘,自太湖东北吴江县瓜泾口起,流经苏州、昆山、青浦、嘉定后横贯上海市区,于外白渡桥东侧汇入黄浦江。苏州河全长 125km,上海境内长约 53.1km。区域地貌属湖泊相沉积平原,坡度平缓,土质以粘土为主;气候属北亚热带东南季风气候,四季分明,降雨充沛,年均气温 15.4℃,年均降水量约为 1091mm;受黄浦江潮汐影响,苏州河为潮汐往复流。自开埠以来,苏州河在见证上海发展的同时也经历了“严重污染-工程治理-水质改善-生态修复”的演变过程。自 1998 年以来,经过苏州河综合整治一期、二期以及三期工程的截污治污、综合调水、底泥疏浚等多项治理措施,采用点源与面源、城市与农村、水体与陆域等多方位污染控制相结合的整治策略,水质不断改善并趋于稳定。随水质修复目标的逐步实现,采用综合手段进行河岸带环境规划和治理得到重视,两岸景观建设初见成效,但河岸带连通性差、滨水空间狭小、部分河岸脏乱差等问题仍较为严重。

1.2 综合评价指标体系的构建

1.2.1 评价指标的选择

评价指标的选择是综合评价的核心,在一定程度上决定研究的合理性及有效性。本研究基于文献^[12]提出的河岸带横向结构,确定河岸带综合评价主要包括滨水带评价、护岸带评价、缓冲带评价和近岸带评价 4 方面的内容。滨水带及护岸带评价是综合反映人为渠化河道或改造护坡导致滨水带与护岸带退化的程度,缓冲带评价是综合反映植被廊道的健康程度,近岸带评价是综合反映近岸土地利用强度及亲水景观功能完善程度。以前述 4 方面内容作为评价体系一级指标,充分收集与修正国内外相关文献中的河岸带评价指标,构建二级指标的综合评价指标数据库;然后依据指标选取的代表性、可操作性、可比性等原则,结合实地调查的区域河岸带特征与相关领域专家意见,在数据库中筛选适宜的评价指标,构建河岸带综合评价指标体系(图 1)。

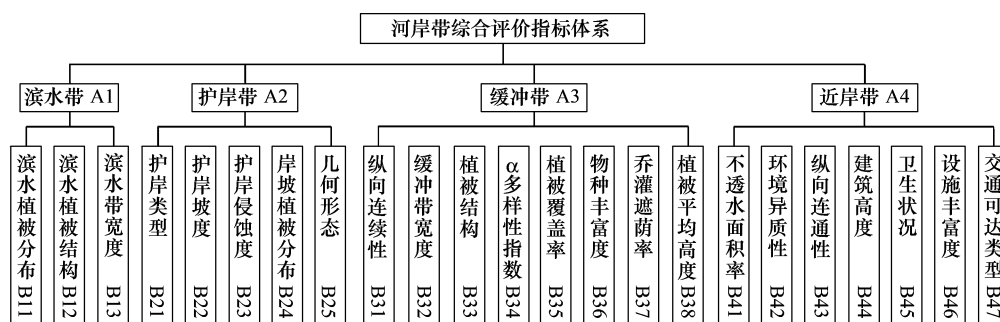


图 1 河岸带综合评价指标体系

Fig. 1 Comprehensive assessment index system of riparian zone

1.2.2 评价标准的确定

评价指标的标准分级是综合评价的关键,本文采用资料收集、现状调研、标准对照、专家咨询等方法确定。评价标准的收集包括 3 部分:一是国内外河流状况评价、河岸带评价以及上海市河道绿化建设导则研究报告等资料文献中对应指标的分级标准;二是实地预调研及正式调研中各指标的现状本底数值;三是通过咨询专家后的分级标准。通过上述 3 方面标准的对比分析,结合苏州河河岸带特征,修正并最终确定具体指标的评分标准(表 1)。评价参照状态为近自然的河岸带状态,选取位于上海市青浦区内受人为干扰程度小的苏州河上游支流为参照对象,评分标准采用 5 级分值评分,少数指标采用 3 级或 4 级,分值越高,状况越好,分值越低,状况越差。

部分二级指标含义:B12 反映滨水带浮水、沉水、挺水、苔藓、草本等植被在结构配置上的完整性;B33 反映缓冲带植被结构配置上的完整性;B42 反映近岸带其他自然或半自然生境与植被缓冲带的连通程度;B44 反映近岸带土地利用强度及视觉可达性的程度。

1.2.3 评价模型

综合评价模型分为二级指标、一级指标及综合状况评分 3 个模块(表 2)^[17]。①二级指标评分,依据表 1 中的评价标准,获得各二级指标分值(分值均在 0—4 之间);②一级指标评分,将各一级指标对应下设的二级指标分值加权,使一级指标分值均在 0—10 之间;③综合状况评分,将各一级指标分值相加,得到综合状况分值,获得河岸带综合状况指数(Riparian Comprehensive Situation Index, RCSI)。

1.3 样点选取及数据处理

根据全面性、典型性与可操作性等原则,结合遥感影像解译与实地调研,选取各种典型用地类型的河段作为评价单元。从苏州河入上海界内的赵屯至黄浦江汇入口,沿河两岸每隔约 1km 选取一个样点,实地调查样点根据可达性而适当调整,样点共计 43 个(图 2)。

表 1 二级指标评价标准

Table 1 Assessment standard of subfactors

指标 Index	4	3	2	1	0	参考文献 Reference
B11	连续均匀分布	半连续分布	从块分布	单独零散分布	无植被	[1]
B12	≥4	3	2	1	0	[1,13]
B13	>河宽 0.2 倍	>0.1—0.2 倍	>0.05—0.1 倍	>0.025—0.05 倍	0—0.025 倍	[14]
B21	自然原型	近自然型	抛石、土坡低挡墙、混凝土栅格植被	堆石、浆砌石块、干砌石块	混凝土	[15]
B22	0—10	>10—30	>30—50	>50—70	>70—90	[1]
B23	无侵蚀区域	0—20%	>20%—50%	>50%—80%	>80%—100%	[14,16]
B24	连续均匀分布	半连续分布	从块分布	单独零散分布	无植被	[1]
B25	缓坡式	陡坡式	复式	低挡墙直立式	高档墙	[15]
B31	与总体植被覆盖率结合评分					[17]
B32	>河宽 1 倍	>0.5—1 倍	>0.25—0.5 倍	>0.1—0.25 倍	0—0.1 倍	[14]
B33	乔灌木(藤竹)	任意两种	—	只有一种	无植被	[1,13]
B34	>2.4—3	>1.8—2.4	>1.2—1.8	>0.6—1.2	0—0.6	※
B35	>75%	>50%—75%	>25%—50%	>5%—25%	0—5%	[18]
B36	>40 种	>30—40 种	>20—30 种	>10—20 种	0—10 种	※
B37	>60%—100%	>40%—60%	>10%—40%	>1%—10%	0	[18]
B38	乔 >7m 或灌 1—3m	乔 >5—7m 或灌 1—3m	乔 >3—5m 或灌 1—3m	灌 1—3m	灌 >0.6—1m 或无乔灌	[1]
B41	0—10%	>10%—20%	>20%—30%	>30%—40%	>40%—100%	[7]
B42	>80%	>50%—80%	>20%—50%	>0—20%	无相连	※
B43	河岸畅通	少量障碍	1 次	2—3 次	>4 次	[13]
B44	50m 内无建筑,一线 H<4 层,二线 H<10 层,100m 内 H<10 层	50m 内无建筑,一线 H<4 层,二线 H<10 层,100m 内 H<20 层	50m 内无建筑,一线 H<10 层,二线 H<20 层,100m 内 H<30 层;或 50m 内有建筑,一线 H<4 层,二线 H<10 层,100m 内 H<20 层	50m 内无建筑,一线 H≥10 层;或者 50m 内有建筑,一线 H<10 层,二线 H<20 层,100m 内 H<30 层	50m 内有建筑,一线 H≥10 层	[13]
B45	无垃圾	极少垃圾	部分垃圾散布	部分垃圾堆放	随意堆放	[13]
B46	≥5 种	3—4 种	2 种	1 种	0 种	[13]
B47	步行、自行车、机动车道	步行、自行车道	步行道	机动车道	无道路	[13]

※专家咨询方法

表 2 河岸带状况等级及分值

Table 2 Grade and score of riparian situation

等级 Grade	综合状况指数 Comprehensive Situation Index	一级指标 First index	二级指标 Second index
非常好 Best	32 < RCSI ≤ 40	8 < A ≤ 10	4
较好 Better	24 < RCSI ≤ 32	6 < A ≤ 8	3
一般 Common	16 < RCSI ≤ 24	4 < A ≤ 6	2
较差 Worse	8 < RCSI ≤ 16	2 < A ≤ 4	1
非常差 Worst	0 ≤ RCSI ≤ 8	0 ≤ A ≤ 2	0

规定每个样点的调查样方陆域面积为 500m(沿河长) × 30m(距河宽),采用卷尺、GPS 仪、罗盘仪等工具对廊道宽度、地理经纬度、护岸坡度等环境因子进行现场测定,并同时记录护岸断面类型、交通种类、活动设施等其他指标的客观情况和感官特征,用地类型的确定采用室内遥感图像解译、Google Earth 卫星地图目视判读以及现场实地调研相结合的方法。

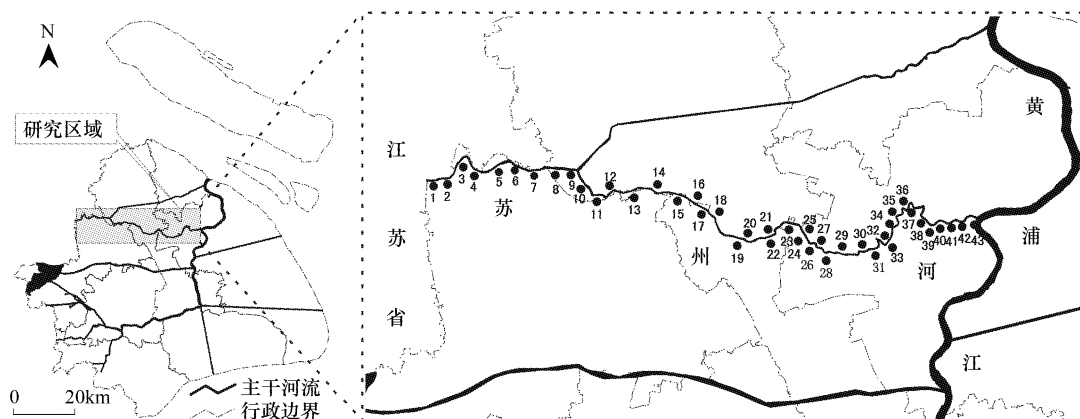


图2 研究区域及样点分布示意图

Fig. 2 Sketch map of research region and sampling points distribution

需要指出的是,本研究进行的缓冲带植被特征调查,在乔灌木分类方面与传统分类略有不同,这与苏州河沿岸植被以园林绿化植被为主,且乔灌木都进行人工修剪导致各物种原有外貌变化有关。高度(H) $\geq 3\text{m}$ 的木本植物界定为乔木; $0.6\text{m} \leq H < 0.6\text{m}$ 的木本植物为灌木;草本及 $H < 0.6\text{m}$ 的木本植物为草本。每个样点选择3—5个乔灌木样方,每个样方面积60—100 m^2 ,总面积均为300 m^2 ,并在其中3个样方中各选择一个面积为1 m^2 的草本样方,共计3 m^2 。乔木调查物种数量、高度、胸径和冠幅;灌木和草本调查物种数量、覆盖度、平均高度;对于河岸的农田植物以及非公共绿地植物不做记录。 α 多样性指数采用 Shannon-Winener 指数,计算公式为: $SW = -\sum p_i \cdot \ln p_i$,式中 p_i 为每个样方中第 i 个种的重要值,灌木和草本为相应种的覆盖度,乔木为相应种相对显著度和相对多度的平均值。

2 结果

根据评价模型计算得出 RCSI(图3),结果表明43个河段的RCSI基本分布在3.79—25.03范围内,对比综合得分评价模型,河岸带综合状况级别未发现非常好的河段,其中有27.9%(12个)与51.2%(22个)河段处于一般和较差的等级,较好和非常差的河段分别有1个和8个。结合野外实地调研对四个一级指标进行对比分析发现,滨水带及护岸带状况较差和非常差的河段均高于85%,分别为40和37个,说明人为对其改造程度较高而处于严重退化状态。而缓冲带的等级状况最好,由于近年对河岸绿化建设的重视,有72.1%河段处于一般及以上等级。此外,53.5%(23个)河段的近岸带状况处于较差和非常差的级别,反映近岸带土地利

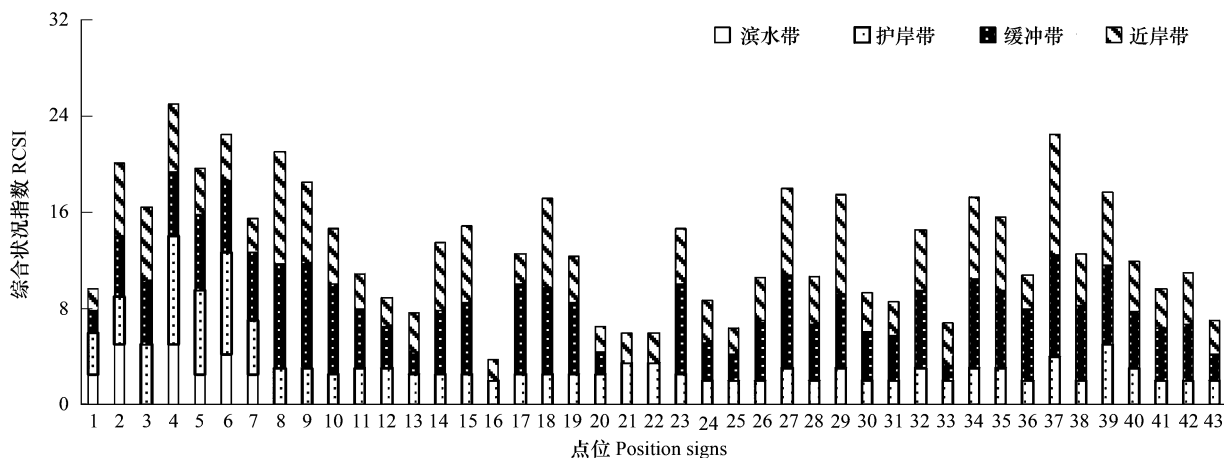


图3 综合状况指标分值

Fig. 3 Index score of comprehensive situation

用活动强度较大。

进一步对比分析各项二级指标。对于滨水带要素,河道渠化导致滨水带区域大规模消失退化,有 85% 以上河段的植被分布、植被结构和宽度等状况较差和非常差。对于护岸带要素,多数河段出于防洪排涝需求建造浆砌石块、水泥等硬质护岸,致使 80% 以上河段的护岸类型、护岸坡度、植被分布和几何形态处于较差和非常差的级别,而 95.3% (41 个)河段的护岸侵蚀度状况非常好,进一步反映护岸带退化极为严重。对于缓冲带要素,虽然近年来滨水景观治理使部分河段的纵向连续性有所提高,但仍有 72.1% (31 个)河段的缓冲带宽度处于较差和非常差的级别;对于缓冲带植被,多数河段乔灌木各层物种组成不均衡,群落结构较不合理,尤其是乔木和草本的种类较为单一,因此物种丰富度、乔灌木遮荫率和 α 多样性指数的得分均不高。对于近岸带要素,由于多数河段的景观管理力度弱、用地紧张等因素导致建筑高度和卫生状况的得分不高,其中 76.7% (33 个)河段的设施丰富度为非常差的状况。

3 讨论

3.1 RCSI 对河段区位的响应

根据河段区位将调研河段分为上游(点位 1—15)、中游(点位 16—28)和下游(点位 29—43)河段,分别采用原始数据、评价分值与 α 多样性指数,运用 ANOVA 分析有效检验和评价不同区位下滨水带、护岸带、缓冲带、近岸带等方面的差异以及 RCSI 对河段区位的响应^[17,19]。ANOVA 分析结果显示(表 3-A):①不同区位的 RCSI 差异显著;②一级指标中,不同区位的滨水带和护岸带差异显著;③二级指标中,不同区位的滨水植被分布及植被结构、护岸类型、岸坡植被分布、缓冲带宽度、不透水面积率、环境异质性、建筑高度、卫生状况、设施丰富度、交通可达类型等指标的差异显著,其余指标均无显著性差异。

多元比较结果显示(表 3-B):河岸带综合状况为上游 > 中游 > 下游,说明不同区位河段的河岸受人类活动干扰程度有所差异。滨水带和护岸带方面,上游河段明显优于中下游河段,尤其体现于植被分布、植被结构和护岸类型的差异;原因为中下游河段出于防洪安全多采用钢筋混凝土护岸,导致滨水和岸坡植被极度退化或消失,而上游河段人为改造程度较轻,部分河段采用石笼堆石护岸并仍保留有滨水带。缓冲带及近岸带方面,由于中下游河岸受到人类活动对土地利用的挤占,近岸带多被厂房、住宅及道路等硬化地面侵占,导致植被缓冲带的空间有限,且下游城区人口较多,各种土地利用强度较之上中游河岸更大,因此上中游河段在缓冲带宽度、不透水面积率和环境异质性方面明显优于下游河段;而在卫生状况、设施丰富度及交通可达类型方面表现则正好相反,表明下游城区河段河岸带主导功能为景观娱乐功能。

而缓冲带在纵向连续性方面未出现显著差异的原因可能是上游河岸带主要被农田和码头占据,中下游河岸带多被厂房、高档居住小区和道路隔断,使连通性受到破坏。缓冲带植被在丰富度、覆盖率及多样性等结构特征方面无显著差异则与各区位的河岸带植被均为人工绿化物种有关,进一步表明人类活动干扰导致自然植被的严重退化。

3.2 RCSI 对用地类型的响应

根据用地类型将调研河段分为工业用地(旧式、新式)、居住用地(城市、村镇)、绿地(苗圃、林地、公共绿地)、农业用地(农田、撂荒地)和其他建设用地(公共建筑、道路广场、在建用地等)河段,分别采用原始数据、评价分值与 α 多样性指数,运用 ANOVA 分析有效检验和评价不同用地类型下滨水带、护岸带、缓冲带、近岸带等方面的差异以及 RCSI 对用地类型的响应^[17,19]。ANOVA 分析结果显示(表 4-A):①不同用地类型的 RCSI 差异显著;②各项一级指标差异均显著;③二级指标中,除滨水带宽度、护岸坡度、护岸侵蚀度、 α 多样性指数、纵向连通性和设施丰富度指标外,其余指标均存在显著性差异。

多元比较结果显示(表 4-B),河岸带综合状况为绿地/农业 > 居住/其他 > 工业,反映不同用地类型的人类干扰强度有显著差异。滨水带和护岸带方面,农业用地在植被分布和结构、护岸类型和几何形态等方面明显优于其他各种用地类型,表明农田区域河岸受人为改造和干扰程度相对较小。缓冲带方面为绿地 > 农业/居住/其他 > 工业,除 α 多样性指数外,其余指标均表现出相同或相似的差异趋势;由于苏州河两岸人工绿化

表 3 不同区位河岸带状况的 ANOVA 结果(A)和多元比较结果(B)

Table 3 Results from one-way ANOVA (A) and multiple comparison (B) of riparian situation in different location						
指标 Index	ANOVA			多元比较 Multiple comparison		
	MS	F	P	上游 Upstream	中游 Middle reaches	下游 Downstream
RCSI	22.891	4.945	0.012	15.92c	10.25a	12.84b
A1 ⁿ	—	—	0.002	1.44a	0.00b	0.00b
B11 ⁿ	—	—	0.002	0.80a	0.00b	0.00b
B12 ⁿ	—	—	0.002	0.80a	0.00b	0.00b
B13 ⁿ	—	—	0.148	0.13	0.00	0.00
A2 ⁿ	—	—	0.004	4.23b	2.50a	2.67a
B21 ⁿ	—	—	0.004	1.33a	0.15b	0.13b
B22 ⁿ	—	—	0.148	0.40	0.00	0.00
B23 ⁿ	—	—	0.148	3.87	4.00	4.00
B24 ⁿ	—	—	0.009	1.40a	0.23b	0.27b
B25 ⁿ	—	—	0.131	1.47	0.62	0.93
A3	—	—	0.503	5.46	4.06	5.27
B31 ⁿ	1.859	0.892	0.418	2.53	1.85	2.27
B32 ⁿ	—	—	0.048	1.73c	1.08b	0.33a
B33 ⁿ	—	—	0.190	3.33	2.54	3.53
B34 ^{mn}	—	—	0.648	1.31	0.96	1.29
B35 ^k	985.758	1.386	0.262	59.00	40.77	44.00
B36 ^k	142.574	2.379	0.106	24.73	15.38	23.07
B37 ^k	514.567	0.662	0.521	19.92	22.76	29.24
B38 ⁿ	—	—	0.053	2.13	1.46	2.67
A4	4.052	1.532	0.229	4.79	3.68	4.91
B41 ⁿ	—	—	0.035	2.47a	1.15b	1.07b
B42 ^{kn}	—	—	0.015	60.67a	25.77b	32.67b
B43	1.210	0.561	0.575	2.80	2.38	2.73
B44 ⁿ	—	—	0.000	2.80a	2.15a	0.67b
B45 ⁿ	—	—	0.005	1.53a	1.31a	2.87b
B46 ⁿ	—	—	0.004	0.20a	0.08a	1.07b
B47 ⁿ	—	—	0.000	0.87a	2.08b	3.93c

A 为苏州河不同区位下的河岸带综合状况各项指标的 ANOVA 结果($df=2,40,42$);B 为各项指标的多元比较结果($P<0.05$);其中 k 代表采用原始数据进行 ANOVA 分析;m 代表采用生物多样性指数进行 ANOVA 分析;n 代表数据未通过 $k-s$ 正态分布检验或未通过齐性检验,采用 $k-w$ 非参数检验;a、b、c 不同字母标注项表示差异显著

比例较大,且绿化形式大部分以大型林带及公共绿地为主,因此在缓冲带结构特征及植被特征方面的优势最大;而旧式工业用地由于其高强度的用地导致缓冲带各指标分数最低,尽管新式工业用地在缓冲带植被建设方面较好,但缓冲带总体仍处于最差状态;其余用地类型的缓冲带状况居中。近岸带方面为绿地>农业/居住>其他/工业,除纵向连通性和设施丰富度外,其余指标的差异趋势各不相同;对结果深入分析发现绿地和农业用地在不透水面积、环境异质性和建筑高度方面的优势明显,表明绿地和农业用地近岸土地利用强度相对较小;而居住和其他用地在交通可达性方面的优势明显。

α 多样性指数在不同用地类型上无显著差异与河流两岸植被配置以灌木种为主,乔木和草本种类单一有关,致使多数河段乔灌草各层物种组成不均衡及群落结构不合理;而设施丰富度方面差异不显著则反映出景观设施种类不足和河岸娱乐功能缺失,主要原因是近岸景观建设多关注市容管理,而忽视亲水娱乐设施的构建,需进一步改善。

3.3 偏差分析

由于实地调研中的各种主客观因素及室内数据处理方法的更新,致使研究结果存在一定的偏差。原因有三方面:一是调研样点的交通不可达以及廊道空间不连通,由于部分河段被工业厂房和高档居住小区等占据而不能到达,使各样点并非理论上的均匀分布,且河段在调研长度上不足 500m,因此采用室内遥感图像目视

判读方法判断缓冲带和近岸带廊道的整体状况,这与实地状况存在一定差异;二是缓冲带 α 多样性指数统计方法的更新,植被结构配置完整的河段取乔灌草的平均值,植被结构配置不完整的河段取植被所属结构的平均值,导致杂草丛生河段的 α 多样性指数比植被结构配置完整的河段的指数高;三是调研人员主体感官的差异,如护岸植被的半连续分布和丛块分布两者间产生混淆等。

表 4 不同用地类型河岸带状况的 ANOVA 结果(A)和多元比较结果(B)

Table 4 Results from one-way ANOVA(A and multiple comparison(B of riparian situation in different land use type

指标 Index	ANOVA			多元比较 Multiple comparison				
	MS	F	P	工业用地 Industrial land	居住用地 Residential land	绿地 Green space	农业用地 Agricultural land	其他用地 Other land
RCSI	13.257	12.036	0.000	8.57a	13.73b	17.02c	20.29c	10.24b
A1 ⁿ	—	—	0.004	0.28a	0.46a	0.00a	3.13b	0.23a
B11 ⁿ	—	—	0.004	0.11a	0.22a	0.00a	2.00b	0.09a
B12 ⁿ	—	—	0.007	0.22a	0.22a	0.00a	1.50b	0.18a
B13 ⁿ	—	—	0.206	0.00	0.11	0.00	0.25	0.00
A2 ⁿ	—	—	0.001	2.72a	3.61a	2.85a	6.25b	2.32a
B21 ⁿ	—	—	0.002	0.22a	0.67a	0.30a	3.00b	0.09a
B22 ⁿ	—	—	0.206	0.00	0.33	0.00	0.75	0.00
B23 ⁿ	—	—	0.206	4.00	3.89	4.00	3.75	4.00
B24 ⁿ	—	—	0.003	0.56a	0.89a	0.10a	2.75b	0.27a
B25 ⁿ	—	—	0.004	0.67b	1.44b	1.30b	2.25c	0.27a
A3	—	—	0.001	2.68a	5.21b	7.34c	5.47b	4.32b
B31 ⁿ	1.225	6.347	0.001	1.11a	2.11b	3.40c	3.25b	1.82a
B32 ⁿ	—	—	0.002	0.56a	0.44a	2.40b	2.00b	0.36a
B33 ⁿ	—	—	0.002	1.56a	3.67b	4.00b	3.00b	3.36b
B34 ^{mn}	—	—	0.208	1.10	1.13	1.45	1.52	0.99
B35 ^k	631.927	7.180	0.000	25.00a	45.78b	78.00c	71.25b	33.91a
B36 ^k	109.444	5.077	0.002	12.33a	24.00b	31.50c	25.25b	15.82b
B37 ^k	380.967	4.454	0.005	14.19b	29.12b	43.59c	6.45a	16.53b
B38 ⁿ	—	—	0.003	0.78a	2.78b	2.70b	1.25a	2.45b
A4	2.107	11.207	0.000	2.90a	4.44b	6.82c	5.45b	3.38a
B41 ⁿ	—	—	0.000	0.67a	1.00a	3.30b	3.75b	0.45a
B42 ^{kn}	—	—	0.000	13.33a	40.56b	84.00c	88.75c	5.00a
B43	1.054	2.301	0.076	2.67	2.78	3.20	3.00	1.91
B44 ⁿ	—	—	0.000	2.00b	0.78a	3.50c	3.00c	0.73a
B45 ⁿ	—	—	0.027	0.78a	2.00b	2.50c	1.25b	2.55c
B46 ⁿ	—	—	0.085	0.00	0.89	1.00	0.00	0.18
B47 ⁿ	—	—	0.012	1.22b	3.11c	2.10b	0.50a	3.36c

A 为苏州河不同用地类型下的河岸带综合状况各项指标的 ANOVA 结果($df=4,38,42$);B 为各项指标的多元比较结果($P<0.05$)。其中 k 代表采用原始数据进行 ANOVA 分析;m 代表采用生物多样性指数进行 ANOVA 分析;n 代表数据未通过 $k-s$ 正态分布检验或未通过齐性检验,采用 $k-w$ 非参数检验;a、b、c 不同字母标注项表示差异显著

3.4 河岸带规划设计与改进策略探讨

针对综合评价及 ANOVA 分析响应结果反映的河岸带问题,提出以下规划设计及改进策略:

(1)滨水带方面 在上游部分保留有滨水带的河段应避免因河道整治对其进一步的破坏,保证其相对完整的水生栖息地;在河道空间较大的中下游河段开展滨水植被的种植,在增加河道景观的同时提供水生生境。

(2)护岸带方面 在保证防汛安全的同时,上游应采用石笼堆石护岸增加水陆环境连通;中下游应采用浆砌石块护岸补充亲水性视觉上的缺失,同时摒弃高档墙护岸(部分道路和人口密集区除外),在开敞空间较大的居住绿化地段提倡采用复式护岸以增加亲水功能。

(3)缓冲带方面 针对两岸有限的河岸带空间,综合考虑社会、经济和自然各方面的因素,建设适宜宽度的植被缓冲带,进一步提升自身的纵向连续性;加强绿化建设的同时,注重植被多样性配置,构建合理的群落

结构,人工干预调整植被建设,恢复植被原始性。

(4)近岸带方面 切实保证 6m 的河道蓝线(航运码头除外),并严格控制蓝绿线的范围,限制新建用地的侵占,控制近岸建筑高度;有条件的河段加强亲水平台、步行道等设施建设,同步改进周边卫生状况;城区提倡采用透水材料铺装某些低级别道路或者沿河步行道,增强地表与地下的联系。

(5)总体方面 对于不同区位及用地类型的河岸带,其主导功能也是有差异的,按照统一的评价标准进行综合评价,必然导致河岸带整体状况不佳;因此现实规划中,管理部门应在参照综合评价结果的基础上,针对不同区位及用地类型河段的河岸带因地制宜,基于不同主导功能河岸带的不同组成部分应在保证防洪安全的情况下,按照上述的规划设计和改进策略进行整治。

4 结论

本文尝试构建了河段尺度的苏州河河岸带综合评价指标体系,运用评价模型计算其综合状况并进行评价分析,以此为基础使用 ANOVA 分析从河段区位和用地类型两方面对河岸带状况进行比较研究,结果表明:

苏州河河岸带整体状况较差,表明人类活动和城市化进程致使河岸带处于严重退化状态。通过评价模型计算发现 RCSI 分布范围为 3.79—25.03,未发现非常好的河段,其中较差的和非常差的河段分别有 22 个和 8 个,占调研河段的 69.8%。

河道渠化、护岸硬质化导致滨水带及护岸带严重退化,多数河段滨水带甚至消失;分析发现滨水带及护岸带状况处于较差和非常差级别的河段比例均高于 85%,分别为 40 和 37 个,其中滨水带宽度和护岸类型是主要影响因素,均有 95.3% 河段处于非常差的级别。中下游高强度的土地利用活动导致大于 50% 河段的近岸带等级状况较差和非常差,其中有 76.7% 河段的不透水面率处于非常差的级别,成为限制近岸带的关键因子。

使用 ANOVA 分析探讨 RCSI 对河段区位和用地类型的响应,结果显示由于人为活动强度、城市化进程等方面的差异,导致 RCSI、一级指标以及多数二级指标在不同区位和不同用地类型中存在显著差异,而滨水带宽度、护岸坡度、侵蚀程度、 α 多样性指数和纵向连通性等方面在这两方面中均无显著性差异,说明不同区位和用地类型下的滨水带和护岸带的退化程度相似,缓冲带植被结构都不合理,近岸带人水争地现象均较严重。

致谢:感谢华东师范大学环境科学系杨庆松、白义琴、钟春节、简耘等同学在野外调查方面提供的帮助。

References:

- [1] Shi Z. Study on Riparian Zone Habitat Assessment of Urban River in China's Plain Water Network Region: A Case Study of Suzhou River in Shanghai. Shanghai: East China Normal University, 2008.
- [2] Huang K, Guo H C, Liu Y, Yu Y J, Zhou F. Research progress on the degradation mechanisms and restoration of riparian ecosystem. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(6): 1373-1382.
- [3] Zhao Y W, Yang Z F. Study on Spatial and Temporal Scale of River Ecosystem Restoration. Journal of Soil Water Conservation, 2005, 19(3): 196-200.
- [4] Zhao Y W, Yang Z F. Preliminary study on assessment of urban river ecosystem health. Advances in Water Science, 2005, 16(3): 349-355.
- [5] Zhang K G, Zhao X, Shao X Q. Discussion on the evaluation of river ecosystem health. Water Resources Protection, 2005, 21(6): 11-14.
- [6] Wu E N, Yang K, Che Y, Yuan W. Characterization of rivers health status and its assessment. Advances in Water Science, 2005, 16(4): 602-608.
- [7] Sally T, Malcolm E. Water Health Enhancement Program: Assessing Riparian Zone Ecosystem Services and Valuing the Benefits of Protecting and Enhancing These Services. Brisbane: BCC Waterway Health, 2007.
- [8] Xia J H, Yan Z M, Jiang C F. Comprehensive assessment index system of ecosystem riparian zone. Advances in Water Science, 2005, 16(3): 345-348.
- [9] Xiong S D, You W H, Huang S F, Wu J, Wu J Q. A research on the landscape evaluation system of the riparian buffer of the Dongfenggang of Suzhou River. Ecologic Science, 2007, 26(3): 220-226.
- [10] Wang G Y, Li Z D. The construction of comprehensive evaluation index system for riparian naturalness. Journal of Shandong Forestry Science and

Technology, 2008, (6): 12-15.

- [11] Chen Z S. Natural Degree Assessing and Ecological Restoration of Riparian Zone in the Suburb of Beijing. Beijing: Beijing Forestry University, 2008.
- [12] Wang D D, Shi Z, Yang K, Bai Y Q. Environmental effects of riparian land use change of urban river: a case study of Suzhou Creek in Shanghai. China Population Resources and Environment, 2009, 19(3): 96-101.
- [13] Chen T. Studies on Habitat Assessment of Urban River in China's Plain Water Network Region: A Case Study in Shanghai. Shanghai: East China Normal University, 2007.
- [14] Anthony R, Ladson, Lindsay J. Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia. Freshwater Biology, 1999, 41: 453-468.
- [15] Cai Y L. Report of Shanghai River Greening Construction Guide Study. Shanghai: East China Normal University/ Shanghai Water Affairs Bureau/ Shanghai Greening Administration Bureau, 2008.
- [16] Barbour M T. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable River: Preiphyton. Benthic Macroinvertebrates and Fish. Washington, D C: USEPA, 1999: 841-899.
- [17] Wu E N. River Health Assessment: Theory, Methods and Practice. Shanghai: East China Normal University, 2008: 61-97.
- [18] David T, Leon M. Rapid Bioassessment of Victorian Streams: The Approach and Methods of the Environment Protection Authority. Victoria: Environment Protection Authority, 1998: 15-19.
- [19] Mou P, Wang Q C, Anne E. Hershey, Yu H L, Guo B Q. Land-use, stream order and stream water physical and chemical qualities. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(7): 1486-1492.

参考文献:

- [1] 施展. 平原河网地区城市河流滨岸带生境评价研究——以上海市苏州河为例. 上海: 华东师范大学, 2008.
- [2] 黄凯, 郭怀成, 刘永, 郁亚娟, 周丰. 河岸带生态系统退化机制及其恢复研究进展. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1373-1382.
- [3] 赵彦伟, 杨志峰. 河流生态系统修复的时空尺度探讨. 水土保持学报, 2005, 19(3): 196-200.
- [4] 赵彦伟, 杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探. 水科学进展, 2005, 16(3): 349-355.
- [5] 张可刚, 赵翔, 邵学强. 河流生态系统健康评价研究. 水资源保护, 2005, 21(6): 11-14.
- [6] 吴阿娜, 杨凯, 车越, 袁雯. 河流健康状况的表征及其评价. 水科学进展, 2005, 16(4): 602-608.
- [8] 夏继红, 严忠民, 蒋传丰. 河岸带生态系统综合评价指标体系研究. 水科学进展, 2005, 16(3): 345-348.
- [9] 熊斯顿, 由文辉, 黄沈发, 吴健, 吴建强. 苏州河东风港滨岸带生态景观综合评价研究. 生态科学, 2007, 26(3): 220-226.
- [10] 王国玉, 李湛东. 河岸带自然度综合评价指标体系的构建. 山东林业科技, 2008, (6): 12-15.
- [11] 陈子珊. 北京郊区河岸带自然性评价与生态恢复. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [12] 汪冬冬, 施展, 杨凯, 白义琴. 城市河流滨岸带土地利用变化的环境效应——以上海苏州河为例. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(3): 96-101.
- [13] 陈婷. 平原河网地区城市河流生境评价研究——以上海为实例. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [15] 蔡永立. 上海市河道绿化建设导则研究报告. 上海: 华东师范大学/上海市水务局/上海市绿化管理局, 2008.
- [17] 吴阿娜. 河流健康评价: 理论、方法与实践. 上海: 华东师范大学, 2008: 61-97.
- [19] 牟溥, 王庆成, Anne E. Hershey, 于红丽, 郭宝琴. 土地利用、溪流级别与溪流河水理化性质的关系. 生态学报, 2004, 24(7): 1486-1492.