

乐山市中心城区越冬水鸟群落结构的变迁

杨培培¹, 思超¹, 周博^{1,2} (1. 乐山师范学院生命科学院, 四川乐山 614000; 2. 海南师范大学生命科学院, 海南海口 571158)

摘要 [目的]研究近年来乐山市中心城区越冬水鸟群落结构的变迁。[方法]于2008年1月和2014年1月分别对乐山市中心城区越冬水鸟群落结构进行了调查。[结果]伴随城市化的快速发展,乐山市中心城区“三江”水鸟的群落结构发生了明显变化,以红嘴鸥(*Larus ridibundus*)和崖沙燕(*Riparia riparia*)等为代表的中小型鸟类逐步取代大中型的鸭科(Anatidae)鸟类成为群落优势种。[结论]该研究可为评估经济活动和生态环境对乐山市中心城区水鸟群落的影响奠定基础。

关键词 越冬水鸟;群落结构;城市化;乐山市

中图分类号 Q959.7 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)24-010-03

Change of Community Structure of Wintering Water Birds in the Central City of Leshan

YANG Pei-pei¹, SI Chao¹, ZHOU Bo^{1,2} (1. College of Life Sciences, Leshan Normal University, Leshan, Sichuan 614000; 2. College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou, Hainan 571158)

Abstract [Objective] The aim was to study the change of community structure of wintering water birds in the central city of Leshan. [Method] The community structure of wintering water birds was conducted in the central city of Leshan in January 2008 and 2014. [Result] The results indicated that, with the rapid development of urbanization, the community structure of “Sanjiang” water birds changed significantly, small-medium-sized birds (e.g. *Larus ridibundus* and *Riparia riparia*) were becoming the dominant species instead of big-medium-sized ones (e.g. Anatidae) in the local community of wintering water birds. [Conclusion] The study lays a foundation for evaluating effects of economic activities and eco-environment on water birds community in the central city of Leshan.

Key words Wintering water birds; Community structure; Urbanization; Leshan City

城市化对生物多样性的影响是生态研究的热点领域之一^[1]。随着我国城市化进程的加速,如何保护城市生态环境、实现人与自然和谐发展是摆在政府决策者面前的难题之一。由于鸟类对环境改变十分敏感,因此被认为是环境变化的良好指示者^[2]。目前,我国城市湿地的生态环境遭到普遍破坏,污染十分严重。湿地是水鸟的聚居地,其生存与人类活动干扰、低营养级生物乃至无机环境密切相关^[3]。因此,研究城市湿地水鸟群落结构的变化对于城市环境监测、制定城区野生动物与环境保护措施具有重要意义。

乐山市位于四川省中南部,地处岷江、青衣江和大渡河下游,“三江”在乐山市中心城区汇流。每年都有大量的水鸟来乐山越冬,该地区已成为我国鸟类西部迁徙路线的重要组成部分^[4]。然而,近年来乐山市滨江经济带的旅游开发与房地产建设等经济活动发展迅猛,对“三江”湿地生态环境带来巨大压力。为评估该变化对当地水鸟群落产生的影响,笔者对近年来乐山市中心城区越冬水鸟群落结构的变迁进行了研究。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况 乐山市市中区位于四川盆地西南峨眉山脉,平均海拔约500 m。中心城区为岷江、青衣江和大渡河“三江”环绕,水系丰富。气候属于中亚热带季风类型,四季分明,气候温和。年平均气温17.4℃,年平均降雨量约1400 mm。城区绿化植被主要为小叶榕(*Ficus microcarpa*)。河滩草植物丰富。

1.2 研究方法 野外调查采用样线法。沿“三江”江岸各设1条观测样线(单侧宽度100 m),样线长分别为7.5 km(岷江段)、4.0 km(大渡河段)和6.5 km(青衣江段),样线总长约18 km(图1)。调查时间为2008年1月和2014年1月。选择良好天气条件,使用10×40倍双筒望远镜观察,记录单侧河滩和江面上所有遇见水鸟的种类及数量。每条样线预观察1次(熟悉栖息地生境、鸟类种类及其分布情况),正式调查1次。每次调查安排2人1组,即1人观察,1人记录。统计优势度(各物种的个体数量占总体数量的比例)、多度、丰富度(物种数量)及香农-威纳多样性指数。将优势度≥0.1的鸟类判定为优势种,0.01≤优势度<0.1的鸟类判定为常见种,优势度<0.01的鸟类判定为稀有种。使用优势种鸟类进行群落命名。试验数据使用Excel 2007软件进行统计与分析。

2 结果与分析

2.1 栖息地特征 乐山市中心地区越冬水鸟的栖息地分为3个江段:①岷江段。两岸建筑密集,人流、车流大,水质差,水面经济活动较多;②大渡河段。两岸建筑较密集,人流、车流较大,水质一般,水面经济活动较少;③青衣江段。两岸建筑相对较少,人流、车流较小,水质较好,水面经济活动少。岷江段的开发力度最大,环境承受的压力也最重,为“过度开发型”;大渡河段的开发力度其次,为“中度开发型”;青衣江段的自然生境保护较好,为“轻度开发型”。

2.2 群落结构特征 ①岷江段。2008年1月记录26种水鸟,其中优势种4种,常见种9种,稀有种13种,将该群落命名为“斑嘴鸭(*Anas poecilorhyncha*)、绿头鸭(*Anas platyrhynchos*)、赤麻鸭(*Tadorna ferruginea*)、红嘴鸥(*Larus ridibundus*)”群落(表1)。2014年1月记录20种水鸟,其中优势种2种,常见种7种,稀有种11种,将该群落命名为“红嘴鸥、崖

基金项目 国家级大学生创新创业训练计划项目(201410649009)。
作者简介 杨培培(1993-),男,四川绵阳人,本科生,专业:生物科学。
鸣谢 西华师范大学生命科学学院胡杰和杨志松老师、乐山师范学院生命科学院2012级生科班曾兰义和雷红梅同学参与了部分野外调查工作,在此一并致谢!
收稿日期 2016-06-29



图 1 样线分布示意

Fig. 1 The distribution of line transects

沙燕 (*Riparia riparia*) 群落 (表 2)。②大渡河段。2008 年 1 月记录 15 种水鸟, 其中优势种 4 种, 常见种 4 种, 稀有种 7 种, 将该群落命名为“斑嘴鸭、崖沙燕、普通鸬鹚 (*Phalacrocorax carbo*)、白鹤鸕 (*Motacilla alba*)”群落 (表 3)。2014 年 1 月记录 15 种水鸟, 其中优势种 3 种, 常见种 8 种, 稀有种 4 种, 将该群落命名为“绿头鸭、崖沙燕、斑嘴鸭”群落 (表 4)。

表 1 2008 年 1 月岷江段水鸟调查结果

Table 1 The survey results of water birds in the Minjiang unit in January of 2008

物种 Species	数量 Number//只	优势度 Dominance
斑嘴鸭 <i>Anas poecilorhyncha</i>	267	0.272
绿头鸭 <i>Anas platyrhynchos</i>	230	0.234
赤麻鸭 <i>Tadorna ferruginea</i>	115	0.117
红嘴鸥 <i>Larus ridibundus</i>	107	0.109
崖沙燕 <i>Riparia riparia</i>	42	0.043
普通秋沙鸭 <i>Mergus merganser</i>	39	0.040
普通鸬鹚 <i>Phalacrocorax carbo</i>	32	0.033
苍鹭 <i>Ardea cinerea</i>	31	0.032
白鹤鸕 <i>Motacilla alba</i>	23	0.023
红头潜鸭 <i>Aythya ferina</i>	17	0.017
白鹭 <i>Egretta garzetta</i>	12	0.012
红尾水鸕 <i>Rhyacornis fuliginosus</i>	10	0.010
骨顶鸡 <i>Fulica atra</i>	10	0.010
罗纹鸭 <i>Anas falcata</i>	8	0.008
矶鸬 <i>Actitis hypoleucos</i>	8	0.008
绿翅鸭 <i>Anas crecca</i>	6	0.006
灰鹤鸕 <i>Motacilla cinerea</i>	6	0.006
赤膀鸭 <i>Anas strepera</i>	4	0.004
白眼潜鸭 <i>Aythya nyroca</i>	3	0.003
针尾鸭 <i>Anas acuta</i>	2	0.002
剑鸬 <i>Charadrius hiaticula</i>	2	0.002
白腰草鸬 <i>Tringa ochropus</i>	2	0.002
白顶溪鸕 <i>Chaimarrornis leucocephalus</i>	2	0.002
中白鹭 <i>Ardea intermedia</i>	1	0.001
长趾滨鸬 <i>Calidris subminuta</i>	1	0.001
斑头雁 <i>Anser indicus</i>	1	0.001

表 2 2014 年 1 月岷江段水鸟调查结果

Table 2 The survey results of water birds in the Minjiang unit in January of 2014

物种 Species	数量 Number//只	优势度 Dominance
红嘴鸥 <i>Larus ridibundus</i>	306	0.346
崖沙燕 <i>Riparia riparia</i>	272	0.307
绿头鸭 <i>Anas platyrhynchos</i>	72	0.081
白鹤鸕 <i>Motacilla alba</i>	44	0.050
斑嘴鸭 <i>Anas poecilorhyncha</i>	42	0.047
普通鸬鹚 <i>Phalacrocorax carbo</i>	37	0.042
赤颈鸭 <i>Anas penelope</i>	35	0.040
红尾水鸕 <i>Rhyacornis fuliginosus</i>	14	0.016
海鸥 <i>Larus canus</i>	9	0.010
针尾鸭 <i>Anas acuta</i>	8	0.009
矶鸬 <i>Actitis hypoleucos</i>	8	0.009
普通秋沙鸭 <i>Mergus merganser</i>	7	0.008
棕头鸥 <i>Larus brunnicapillus</i>	6	0.007
普通翠鸟 <i>Alcedo atthis</i>	6	0.007
灰鹤鸕 <i>Motacilla cinerea</i>	6	0.007
白顶溪鸕 <i>Chaimarrornis leucocephalus</i>	6	0.007
翘鼻麻鸭 <i>Tadorna tadorna</i>	2	0.002
苍鹭 <i>Ardea cinerea</i>	2	0.002
白鹭 <i>Egretta garzetta</i>	2	0.002
北红尾鸕 <i>Phoenicurus auroreus</i>	1	0.001

表 3 2008 年 1 月大渡河段水鸟调查

Table 3 The survey results of water birds in the Daduhe unit in January of 2008

物种 Species	数量 Number//只	优势度 Dominance
斑嘴鸭 <i>Anas poecilorhyncha</i>	96	0.430
崖沙燕 <i>Riparia riparia</i>	31	0.139
普通鸬鹚 <i>Phalacrocorax carbo</i>	26	0.117
白鹤鸕 <i>Motacilla alba</i>	24	0.108
白鹭 <i>Egretta garzetta</i>	21	0.094
矶鸬 <i>Actitis hypoleucos</i>	5	0.022
红尾水鸕 <i>Rhyacornis fuliginosus</i>	5	0.022
苍鹭 <i>Ardea cinerea</i>	5	0.022
水鸬 <i>Anthus spinoletta</i>	2	0.009
绿头鸭 <i>Anas platyrhynchos</i>	2	0.009
环颈鸬 <i>Charadrius alexandrinus</i>	2	0.009
普通翠鸟 <i>Alcedo atthis</i>	1	0.004
金眶鸬 <i>Charadrius dubius</i>	1	0.004
灰鹤鸕 <i>Motacilla cinerea</i>	1	0.004
长嘴剑鸬 <i>Charadrius placidus</i>	1	0.004

表 4 2014 年 1 月大渡河段水鸟调查结果

Table 4 The survey results of water birds in the Daduhe unit in January of 2014

物种 Species	数量 Number//只	优势度 Dominance
绿头鸭 <i>Anas platyrhynchos</i>	332	0.295
崖沙燕 <i>Riparia riparia</i>	220	0.195
斑嘴鸭 <i>Anas poecilorhyncha</i>	201	0.179
赤颈鸭 <i>Anas penelope</i>	85	0.075
赤麻鸭 <i>Tadorna ferruginea</i>	79	0.070
红嘴鸥 <i>Larus ridibundus</i>	67	0.060
白鹤鸕 <i>Motacilla alba</i>	35	0.031
普通鸬鹚 <i>Phalacrocorax carbo</i>	32	0.028
白鹭 <i>Egretta garzetta</i>	28	0.025
苍鹭 <i>Ardea cinerea</i>	21	0.019
红尾水鸕 <i>Rhyacornis fuliginosus</i>	12	0.011
矶鸬 <i>Actitis hypoleucos</i>	5	0.004
北红尾鸕 <i>Phoenicurus auroreus</i>	4	0.004
白顶溪鸕 <i>Chaimarrornis leucocephalus</i>	3	0.003
灰鹤鸕 <i>Motacilla cinerea</i>	2	0.002

表5 2008年1月青衣江段水鸟调查结果

Table 5 The survey results of water birds in the Qingyijiang unit in January of 2008

物种 Species	数量 Number//只	优势度 Dominance
绿头鸭 <i>Anas platyrhynchos</i>	370	0.538
崖沙燕 <i>Riparia riparia</i>	62	0.090
白鹭 <i>Egretta garzetta</i>	53	0.077
凤头麦鸡 <i>Vanellus vanellus</i>	50	0.073
斑嘴鸭 <i>Anas poecilorhyncha</i>	26	0.038
白鹤鸫 <i>Motacilla alba</i>	25	0.036
长嘴剑鸻 <i>Charadrius placidus</i>	19	0.028
矶鹬 <i>Actitis hypoleucos</i>	14	0.020
红尾水鸊 <i>Rhyacornis fuliginosus</i>	13	0.019
青头潜鸭 <i>Aythya baeri</i>	12	0.017
家燕 <i>Hirundo rustica</i>	10	0.015
剑鸻 <i>Charadrius hiaticula</i>	6	0.009
苍鹭 <i>Ardea cinerea</i>	5	0.007
鹊鸭 <i>Bucephala clangula</i>	4	0.006
普通鸬鹚 <i>Phalacrocorax carbo</i>	4	0.006
大白鹭 <i>Ardea alba</i>	4	0.006
水鸊 <i>Anthus spinoletta</i>	3	0.004
北红尾鸲 <i>Phoenicurus auroreus</i>	3	0.004
白腰草鹬 <i>Tringa ochropus</i>	2	0.003
田鸫 <i>Anthus richardi</i>	1	0.001
普通翠鸟 <i>Alcedo atthis</i>	1	0.001
白顶溪鸲 <i>Chaimarrornis leucocephalus</i>	1	0.001

③青衣江段。2008年1月记录22种水鸟,其中优势种1种,常见种10种,稀有种11种,将该群落命名为“绿头鸭”群落(表5)。2014年1月记录18种水鸟,其中优势种2种,常见种8种,稀有种8种,将该群落命名为“崖沙燕、白鹤鸫”群落(表6)。

表6 2014年1月青衣江段水鸟调查结果

Table 6 The survey results of water birds in the Qingyijiang unit in January of 2014

物种 Species	数量 Number//只	优势度 Dominance
崖沙燕 <i>Riparia riparia</i>	430	0.490
白鹤鸫 <i>Motacilla alba</i>	152	0.173
白鹭 <i>Egretta garzetta</i>	86	0.098
赤颈鸭 <i>Anas penelope</i>	66	0.075
斑嘴鸭 <i>Anas poecilorhyncha</i>	39	0.044
红尾水鸊 <i>Rhyacornis fuliginosus</i>	29	0.033
普通鸬鹚 <i>Phalacrocorax carbo</i>	18	0.021
绿头鸭 <i>Anas platyrhynchos</i>	13	0.015
水鸊 <i>Anthus spinoletta</i>	10	0.011
矶鹬 <i>Actitis hypoleucos</i>	10	0.011
普通秋沙鸭 <i>Mergus merganser</i>	6	0.007
白腰草鹬 <i>Tringa ochropus</i>	4	0.005
红嘴鸥 <i>Larus ridibundus</i>	3	0.003
红胁蓝尾鸲 <i>Tarsiger cyanurus</i>	3	0.003
北红尾鸲 <i>Phoenicurus auroreus</i>	3	0.003
白顶溪鸲 <i>Chaimarrornis leucocephalus</i>	3	0.003
灰鹤鸫 <i>Motacilla cinerea</i>	2	0.002
普通翠鸟 <i>Alcedo atthis</i>	1	0.001

2.3 多度、丰富度和多样性的变化 由表7可知,近年来岷江段的水鸟多度、丰富度及多样性呈下降趋势;大渡河段的水鸟多度和多样性增加明显,丰富度维持不变;青衣江段的水鸟多度增加,而丰富度和多样性均有不同程度降低。

表7 乐山市中心城区水鸟多度、丰富度及多样性的变化

Table 7 The changes of number, richness, and diversity index of water birds in the central city of Leshan

江段	调查时间 Survey time	多度 Number	丰富度 Richness	多样性指数 Diversity index
岷江段	2008-01	981	26	3.207
Minjiang unit	2014-01	885	20	2.752
大渡河段	2008-01	223	15	2.639
Daduhe unit	2014-01	1 126	15	2.930
青衣江段	2008-01	688	22	2.637
Qingyijiang unit	2014-01	878	18	2.493

3 结论与讨论

该研究表明,伴随城市化的快速发展,乐山市中心城区“三江”水鸟群落结构发生了明显变化,以红嘴鸥、崖沙燕等为代表的中小型鸟类逐步取代大中型的鸭科鸟类成为群落优势种。

关于城市化对鸟类群落的影响,主流观点认为鸟类群落的丰富度和物种多样性随着城市化程度的提高而下降^[5-7];也有学者指出:适度的城市化有助于提高鸟类群落的丰富度和多样性^[8],该观点符合中度干扰假说^[9]。在乐山市中区,近年来岷江两岸的房地产开发迅猛;此外,为了吸引游客,将靠近大佛博物馆两侧的河漫滩开发、修建成2座大型复古景观——嘉定坊和嘉州长卷,加之水面经营性游船和鱼楼众多,水质恶化,导致水鸟丰富度和多样性指数显著下降,该结果与主流观点一致。大渡河段虽然有2处经营性渡船,以及靠近太阳岛一侧的农家乐较多,但这些农家乐距离江面较远(大多在100 m以上),且河漫滩的自然生态保持较好,总体而言该江段处于适度开发的范围内。此次调查结果表明,大渡河段水鸟群落的丰富度保持平衡,多样性有所增加,因此符合中度干扰假说。青衣江段的自然生态虽然保持最好,但2014年冬季水量枯竭,这可能是导致该江段水鸟丰富度和多样性降低的主要原因。

一般认为,鸟类的密度和多度随着城市化程度的提高而上升^[10]。其中,城市内丢弃的有机食物残渣丰富,为许多鸟类提供了充足的食物来源。从整体来看,虽然乐山市中区“三江”水鸟多度似乎增加明显,主要是一些对水质环境要求不高的种类(如红嘴鸥和崖沙燕)的数量增长较快,从而掩盖了大型雁鸭类种群数量不断减少的事实,而后者才是真正对环境变化敏感和具有良好指示意义的物种。红嘴鸥数量增长可能与市民投喂有关。崖沙燕数量增加,可能是由于近年来气温变暖趋势明显,从而滋生了更多昆虫。充沛的食物供给有利于崖沙燕种群数量的增长。

鸟类是人类的朋友,也是一道独特的自然景观。在城市化迅猛发展的今天,城市市民与自然日益渐行渐远。乐山市中心城区拥有得天独厚的大江大河,应该珍惜大自然的恩赐,在谋求经济发展的同时,为鸟类留一片天空。为此,提出以下建议:①减少河面各类经营性活动;②加大周边环境治理力度,恢复河岸和河漫滩的自然生态面貌。严禁生活污水和工业废水直接向江河排放;③控制沿江房地产开发,将沿

(下转第16页)

系,已成为今后研究 EPS 相关功能的重要手段。

实际上,不同种污泥的 EPS 组成特征与反应器运行条件、微生物类型和污泥空间形态等条件都密切相关,很难做出准确概括。但可以明确的是, EPS 是微生物聚集体自适应外界环境变化的自然产物。EPS 的大量分泌在维持污泥结构稳定、改善界面物化特性的同时,有助于截留生长周期较长的自养微生物,实现不同功能菌的分层分布,这对于培养全自养脱氮颗粒污泥至关重要。当前,随着生物处理技术的快速发展,有必要以污泥性能和结构为出发点,建立 EPS 类型分布与微生物种群结构之间的响应关系,探明特定功能菌分泌 EPS 的调控机理,以期为工艺操作的优化提供理论支撑。

参考文献

- [1] 张丽丽,姜理英,方芳,等. 好氧颗粒污泥胞外聚合物的提取与成分分析[J]. 环境工程学报,2007,1(4):127-130.
- [2] ADAV S S,LEE D J,SHOW K Y,et al. Aerobic granular sludge:Recent advances[J]. Biotechnology advances,2008,26(5):411-423.
- [3] YANG S F,LI X Y. Influences of extracellular polymeric substances (EPS) on the characteristics of activated sludge under non-steady-state conditions [J]. Process biochemistry,2009,44(1):91-96.
- [4] 陈寰,李天宏,周顺桂. 好氧颗粒污泥中胞外聚合物的提取、组成及空间分布研究进展[J]. 四川环境,2008,27(5):75-78.
- [5] LIANG Z W,LI W H,YANG S Y,et al. Extraction and structural characteristics of extracellular polymeric substances (EPS), pellets in autotrophic nitrifying biofilm and activated sludge [J]. Chemosphere, 2010, 81 (5): 626-632.
- [6] SHENG G P,YU H Q,LI X Y. Extracellular polymeric substances (EPS) of microbial aggregates in biological wastewater treatment systems: A review [J]. Biotechnology advances, 2010, 28(6): 882-894.
- [7] ADAV S S,LEE D J,LAI J Y. Aerobic granules with inhibitory strains and role of extracellular polymeric substances [J]. Journal of hazardous materials, 2010, 174(1/2/3): 424-428.
- [8] MU H,ZHENG X,CHEN Y G,et al. Response of anaerobic granular sludge to a shock load of zinc oxide nanoparticles during biological wastewater treatment [J]. Environ Sci Technol, 2012, 46(11): 5997-6003.
- [9] PELLICER-NACHER C,DOMINGO-FELEZ C,MUTLU A G,et al. Critical assessment of extracellular polymeric substances extraction methods from mixed culture biomass [J]. Water research, 2013, 47(15): 5564-5574.
- [10] 周俊,周立祥,黄焕忠. 污泥胞外聚合物的提取方法及其对污泥脱水性能的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(7): 2752-2757.
- [11] LIU H,FANG H H P. Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) of sludges [J]. Journal of biotechnology, 2002, 95(3): 249-256.
- [12] 邹小玲,许柯,丁丽丽,等. 不同状态下的同一污泥胞外聚合物提取方法研究[J]. 环境工程学报, 2010, 4(2): 436-440.
- [13] 罗曦,雷中方,张振亚,等. 好氧/厌氧污泥胞外聚合物 (EPS) 的提取方

法研究[J]. 环境科学学报, 2005, 54(12): 1624-1629.

- [14] ADAV S S,LEE D J. Characterization of extracellular polymeric substances (EPS) from phenol degrading aerobic granules [J]. Journal of the Taiwan institute of chemical engineers, 2011, 42(4): 645-651.
- [15] ABZAC P D,BORDAS F,HULLEBUSCH E V,et al. Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) from anaerobic granular sludges: Comparison of chemical and physical extraction protocols [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2010, 85(5): 1589-1599.
- [16] 王琰,钱飞跃,王建芳,等. 亚硝化颗粒污泥中 EPS 提取方法与组成特性的比较研究[J]. 环境科学学报, 2015, 35(11): 3515-3521.
- [17] WU L,PENG C Y,PENG Y Z,et al. Effect of wastewater COD/N ratio on aerobic nitrifying sludge granulation and microbial population shift [J]. Journal of environmental sciences, 2012, 24(2): 234-241.
- [18] GAO D W,LIU L,LIANG H,et al. Comparison of four enhancement strategies for aerobic granulation in sequencing batch reactors [J]. Journal of hazardous materials, 2011, 186(1): 320-327.
- [19] 刘小鹏,王建芳,钱飞跃,等. 提高有机负荷对好氧颗粒污泥形成与稳定过程的影响[J]. 环境科学, 2015, 36(9): 3352-3357.
- [20] HOA P T,NAIR L,VISVANATHAN C. The effect of nutrients on extracellular polymeric substances production and its influence on sludge properties [J]. Water S A, 2003, 29(4): 437-442.
- [21] SHOW K Y,LEE D J,TAY J H. Aerobic granulation: Advances and challenges [J]. Appl Biochem Biotechnol, 2012, 167(6): 1622-1640.
- [22] ZHU L,LI M L,DAI X,et al. Role and significance of extracellular polymeric substances on the property of aerobic granule [J]. Bioresource technology, 2012, 107(2): 46-54.
- [23] WAN C L,ZHANG Q L,LEE D J,et al. Long-term storage of aerobic granules in liquid media: Viable but non-culturable status [J]. Bioresour Technol, 2014, 166(8): 464-470.
- [24] WEI D,XUE X D,YAN L G,et al. Effect of influent ammonium concentration on the shift of full nitrification to partial nitrification in a sequencing batch reactor at ambient temperature [J]. Chemical engineering journal, 2014, 235(1): 19-26.
- [25] CHEN F Y,LIU Y Q,TAY J H,et al. Rapid formation of nitrifying granules treating high-strength ammonium wastewater in a sequencing batch reactor [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2015, 99(10): 4445-4452.
- [26] 刘文如,丁玲玲,王建芳,等. 低 C/N 的条件下亚硝化颗粒污泥的培养及成因分析[J]. 环境科学学报, 2013, 33(8): 2226-2233.
- [27] ADAV S S,LEE D J. Extraction of extracellular polymeric substances from aerobic granule with compact interior structure [J]. Journal of hazardous materials, 2008, 154(1/2/3): 1120-1126.
- [28] NI B J,XIE W M,LIU S G,et al. Granulation of activated sludge in a pilot-scale sequencing batch reactor for the treatment of low-strength municipal wastewater [J]. Water research, 2009, 43(3): 751-761.
- [29] VERAWATY M,PIJUAN M,YUAN Z,et al. Determining the mechanisms for aerobic granulation from mixed seed of floccular and crushed granules in activated sludge wastewater treatment [J]. Water research, 2012, 46(3): 761-771.
- [30] JEMAAT Z,SUAREZ-OJEDA M E,PEREZ J,et al. Partial nitrification and o-cresol removal with aerobic granular biomass in a continuous airlift reactor [J]. Water research, 2014, 48(1): 354-362.

(上接第 12 页)

江一带划为自然生态保护小区;④加大爱鸟护鸟宣传教育,提高市民自然保护意识。

参考文献

- [1] PAUCHARD A,AGUAYO M,LA PENNA E. Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: The case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile) [J]. Biological conservation, 2006, 127(3): 272-281.
- [2] 赵洪峰,雷富民. 鸟类用于环境监测的意义及研究进展 [J]. 动物学杂志, 2002, 37(6): 74-78.
- [3] 王强,吕宪国. 鸟类在湿地生态系统监测与评价中的应用 [J]. 湿地科学, 2007, 5(3): 274-281.

- [4] 宋轶,刘秋,廖莹,等. 四川乐山市“三江”地区鸟类资源初步调查 [J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2009, 30(2): 141-148.
- [5] BEISSINGER S R,OSBORNE D R. Effects of urbanization on avian community organization [J]. Condor, 1982, 84: 75-83.
- [6] ROSENBERG K V,TERRILL S B,ROSENGERG G H. Value of suburban habitats to desert riparian birds [J]. Wilson bulletin, 1987, 99: 643-654.
- [7] 王舒,童玉平,王志杰,等. 哈尔滨市城市化建设对鸟类群落的影响 [J]. 野生动物学报, 2015, 36(3): 295-302.
- [8] BLAIR R B. Land use and avian species diversity along an urban gradient [J]. Ecological applications, 1996, 6(2): 506-519.
- [9] CONNELL J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs [J]. Science, 1978, 199: 1302-1310.
- [10] 陈水华,丁平,郑光美,等. 城市鸟类群落生态学研究展望 [J]. 动物学研究, 2000, 21(2): 165-169.