

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2023.02.012

北京典型水域贝类和虾类生物多样性监测及入侵风险分析

郭伟¹, 王东霞¹, 常广悦¹, 王浩^{1,2,3}, 战爱斌^{2,3}, 李世国^{2,3*}

¹北京市水文总站, 北京 100089; ²中国科学院环境生物技术重点实验室/中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; ³中国科学院大学, 北京 100049

摘要:【目的】了解北京地区典型水域贝类和虾类生物多样性, 分析外来水生入侵物种的生态风险。【方法】选取北运河、潮白河、永定河、大清河和蓟运河五大水系以及南水北调蓄水工程沿线等北京地区典型水域, 于 2020 年 6、8 和 10 月开展 3 次监测工作。共设置监测站点 48 个, 涵盖河流、湖泊、水库等不同水体类型。通过对采集样品的分类鉴定, 分析北京地区贝类和虾类物种组成、分布特征和生物多样性, 同时对入侵贝类沼蛤的生态风险进行初步分析。【结果】本研究共鉴定出贝类和虾类 13 科 27 种, 其中, 贝类 11 科 22 种, 虾类 2 科 5 种。角形环棱螺、纹沼螺、中华新米虾和铜锈环棱螺为各监测站点中的优势物种。从监测时间分析, 各监测站点贝类和虾类的物种数量、密度和生物量都随着监测时间的延续表现为先升高后降低的趋势, 而生物多样性表现为持续升高趋势。从水体类型分析, 各监测站点贝类和虾类的物种组成和生物多样性没有表现出显著差异, 同质化趋势明显, 而湖泊型水体贝类和虾类的生物量和密度较高。此外, 本研究在玉渊潭西湖和龙潭闸 2 个站点均采集获得入侵贝类沼蛤的活体样品, 且在 3 次监测中沼蛤种群密度均较大, 这表明北京地区沼蛤生物入侵风险较大, 需持续开展跟踪监测并密切关注其种群发展动态。【结论】北京地区底栖动物尤其是贝类和虾类资源较为丰富, 但相关监测调查仍然没有全面覆盖本地贝类和虾类物种, 在后续工作中应该加大监测力度, 同时应密切关注入侵生物沼蛤的种群动态和入侵情况。

关键词: 底栖动物; 生物多样性; 贝类; 虾类; 沼蛤; 生物入侵



开放科学标识码
(OSID 码)

Biodiversity monitoring and invasion risk analysis for shellfish and shrimp in typical waters of Beijing

GUO Wei¹, WANG Dongxia¹, CHANG Guangyue¹, WANG Hao^{1,2,3}, ZHAN Aibin^{2,3}, LI Shiguo^{2,3*}

¹Beijing Hydrology Center, Beijing 100089, China; ²Key Laboratory of Environmental Biotechnology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; ³University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: 【Aim】 To investigate the biodiversity of shellfish and shrimp and analyze their ecological risks in the typical waters of Beijing. 【Method】 Five rivers, including the North Canal, Chaobai River, Yongding River, Daqing River, and Jiyun River, and typical waters along the South-to-North Water Transfer Project in Beijing, were selected and monitored three times in June, August, and October 2020. A total of 48 monitoring sites were surveyed, covering all water types, including rivers, lakes, and reservoirs. Through the classification and identification of collected samples, the species composition, distribution, characteristics, and biodiversity of shellfish and shrimp were analyzed, and the ecological risk of potential invasive species was preliminarily analyzed. 【Result】 A total of 27 species of shellfish and shrimp belonging to 13 families were identified, including 22 species of shellfish belonging to 11 families and five species of shrimp belonging to two families. The dominant species at all the monitoring sites for the three sampling dates were *Bellamya angularia*, *Parafossarulus striatulus*, *Neocaridina denticulata sinensis*, and *Bellamya aeruginosa*. The species number, density, and biomass of shellfish and shrimp increased first and then decreased in all the sampling sites from June to October, whereas the biodiversity showed a continuous increase trend. From the perspective of water type, the species composition and biodiversity of shellfish and shrimp at the various sites did not show significant differences. The homogenization trend was obvi-

ous for all species, whereas the biomass and density of shellfish and shrimp in lake-type water were higher. In addition, living samples of the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* were collected at two sites, Yuyuantan and Longtanzha, and the densities of this species at these sites were higher than those of other species during the three monitoring periods, indicating that the biological invasion risk of *L. fortunei* in the Beijing area was high. Continuous surveillance is urgently needed, and close attention should be paid to the population density of invasive *L. fortunei*. 【Conclusion】 The resources of benthic animals, especially shellfish and shrimp, are abundant in the Beijing area, but relevant monitoring surveys have not fully covered the local shellfish and shrimp species. Monitoring efforts should be strengthened in follow-up work, and the population dynamics and invasion of the invasive species of *L. fortunei* should be closely monitored.

Key words: macrobenthos; biodiversity; shellfish; shrimp; *Limnoperna fortunei*; biological invasion

底栖动物是生活史全部或大部分时间栖息于水体底层的水生生物,主要包括软体动物、环节动物、节肢动物和昆虫幼虫等,是水生生态系统中的重要类群(陈义永等,2018;李朝等,2018)。贝类和虾类是底栖动物中的典型代表,发挥重要的生态学功能,主要体现在以下方面:贝类和虾类的过滤性摄食方式,可以净化周围水质,促进水体中的物质循环和能量流动;贝类和虾类主要以浮游生物为食,本身又是鱼类等水生食物链中高营养级生物的重要食物来源,能够维持水生生态系统结构的稳定;与浮游生物和游泳生物相比,贝类和虾类对不利环境的逃避能力较差,对外界环境变化较为敏感,它们的结构组成和生物多样性等能够灵敏地反映出水生态系统的变化趋势,是潜在的水环境污染指示生物(胡小红等,2022;倪平等,2014;渠晓东等,2021;王萌等,2022)。根据这些特点,学者们陆续开展了以贝类或虾类指示功能为基础的水生态学研究,通过分析它们的物种数量、生物量、多样性、优势种类等揭示贝类和虾类对水环境胁迫因子的响应规律,进而对河流、湖泊、水库和近海等不同类型水体的健康情况进行科学评价,为水生生态系统保护和修复工作提供了较好的科技支撑(陈修报等,2021)。

除了指示性功能外,贝类和虾类中的一些物种也具有明显的致灾致害特性,如贝类中的沼蛤 *Limnoperna fortunei* Dunker、福寿螺 *Pomacea canaliculata* Lamarck 以及虾类中的克氏原螯虾(俗称小龙虾) *Procambarus clarkii* Girard 等都是烈性淡水入侵生物,已经严重影响入侵地水生生态系统健康,并给水产养殖、船舶运输、水利工程建设等重要行业带来经济损失(邓智心等,2012;鲁耀鹏等,2017;王婵娟等,2021;冼晓青等,2022;Gherardi *et al.*, 2011; Xu, 2015)。明确水生生态系统中贝类和虾类等重要

底栖动物类群的结构组成和生物多样性,是科学评估水生生态系统健康状况的主要途径,对于水生生物资源保护与利用十分重要,对于防止外来生物入侵等生态灾害的发生也具有重要意义。

北京地处华北平原北部、京津冀腹地,地势西北高、东南低,拥有北运河、潮白河、永定河、大清河、蓟运河等众多水系,河流、湖泊、水库等各种水体类型十分丰富,水生生物种类繁多。水生生态系统是城市供水、防洪、水土保持、景观娱乐等功能的基础,在首都经济社会的发展过程中发挥着至关重要的作用。近年来,学者们围绕北京地区不同水体类型中的底栖动物类群开展了监测调查工作,并在此基础上对北京地区水生态健康状况进行了初步评价。杨柏贺等(2019)研究指出,北运河水系大型底栖生物功能摄食类群受水温、氨氮等水体环境因素的显著影响,并且认为北运河水系受到一定程度的环境污染;顾晓昀等(2018)的监测结果也认为,北运河水系整体水质情况较差;胡小红等(2022)研究筛选出对北运河流域水质因子具有指示作用的贝类。李永刚等(2018)研究表明,密云水库受调水等因素的影响底栖生物群落结构不稳定,处于群落结构重构时期,其香浓-威纳指数介于 0.38~1.43;王旭等(2022)对在密云水库的生态健康评价结果表明,56%的监测站点处于健康和亚健康等级。张宇航等(2018)对永定河水系、大清河水系、潮白河水系和北运河水系的研究结果显示,北京地区河流大型底栖动物的种类、分布和生物多样性受自然环境影响十分显著,形成了山区-城市空间分布格局;而张宇航等(2020)对永定河的进一步研究结果表明,水环境因子和水文因子对该水系底栖动物群落结构影响显著。贺玉晓等(2020)研究指出,北京山区和平原河流底栖生物在北京地区不同河流中的结构组成和生物多样性差异明显,而营养盐、人为

干扰和水温则被认为是导致差异的主要原因。

这些监测工作的开展对于全面了解北京地区底栖动物群落组成和生物多样性、评估北京地区水生健康状况起到了重要作用。然而,综合分析这些监测结果不难发现,北京地区底栖动物监测工作仍然存在不足之处:监测范围不够全面,只针对某个水系或某个水体类型,缺乏对不同水系和不同水体类型的综合分析;样品采集时间较为分散,主要集中在年度某个时间段,缺乏全年多个季节之间的对比分析;对外来入侵生物没有关注,缺乏针对典型外来入侵物种的风险分析。这些因素在一定程度上影响了底栖生物监测结果,不利于北京地区水生生态系统健康状况的科学评价。

近年来,北京市外来入侵物种数量逐渐增多,入侵生物管控工作压力不断增大。外来水生生物借助水产养殖、园林绿化、水利工程输水路线逐渐向北京迁移,导致本地水生生态系统生物入侵的风险大大提高。监测外来物种对本地水生生态系统的影响已经成为北京水务防控工作的重点,特别是已经对供水系统造成极大危害的物种。沼蛤又称金贻贝或淡水壳菜,是一种体型较小的淡水双壳贝类,具有极强的入侵性(Li *et al.*, 2018; Xu, 2015)。沼蛤原产于东南亚淡水河流和湖泊,现已入侵到世界各地。近几年实地监测发现,沼蛤已经入侵到北京地区,在北京一些水域可以成功越冬繁殖,一些大型输水工程的开发建设可能是沼蛤入侵的主要途径(曹新垵等, 2017; Xia *et al.*, 2021)。沼蛤的入侵一方面会迅速改变入侵水域的生物群落结构,威胁水生生态系统健康和稳定;另一方面沼蛤会附着在一些重要水利设施的表面,导致设备腐蚀、管道阻塞、水体污染,造成巨大的经济损失。已有报道显示,北京十三陵水库导流系统管道曾经受到沼蛤阻塞的严重威胁(徐梦珍等, 2012)。开展沼蛤生态监测工作,明确沼蛤分布特征,对于准确分析北京地区沼蛤入侵风险、及时制定入侵生物防控措施十分必要,同时也是北京市水生生态监测工作的关键环节。

基于上述问题,本研究于 2020 年在北京地区北运河、潮白河、永定河、大清河和蓟运河等五大水系和南水北调蓄水工程沿线等典型水域开展了底栖动物监测工作。共设置监测站点 48 个,站点涵盖河流、湖泊、水库等不同水体类型,监测时间设置在北京地区底栖动物生长发育的 3 个主要季

节。通过对采集样品的分类鉴定,分析北京地区贝类和虾类的物种组成、分布特征、生物多样性及其季节性变化规律,同时对沼蛤的入侵生态风险进行初步分析,以期为评估北京地区水生生态系统健康状况、制定外来入侵物种防控策略提供更加科学的数据支撑。

1 材料与方法

1.1 样点设置

本研究样点设置范围覆盖北京地区典型水域,包括北运河、潮白河、永定河、大清河和蓟运河五大水系以及南水北调蓄水工程沿线,分属于水库、湖泊和河流等 3 种水体类型。共设置贝类和虾类监测站点 48 个,其中,潮白河水系 19 个(1 怀柔水库坝前、2 怀柔水库库东、3 怀柔水库库西、4 怀九河入库口、5 怀沙河入库口、6 白河主坝、7 潮河主坝、8 库东、9 库西、10 金沟、11 内湖、12 套里、13 恒河、14 大关桥、15 辛庄桥、16 沙厂水库库区、17 怀沙河上游、18 怀九河上游、19 白河堡库区),北运河水系 15 个(20 福海、21 昆明湖、22 团城湖、23 北海、24 玉渊潭西湖、25 龙潭闸、26 高碑店湖、27 羊坊闸、28 马驹桥、29 榆林庄闸、30 北关闸、31 十三陵水库、32 丰字沟、33 景观水域、34 龙背村),永定河水系 11 个(35 河口、36 永 1000、37 奶 1018+1、38 三家店、39 大宁水库、40 门城湖、41 莲石湖、42 晓月湖、43 宛平湖、44 奶水河谷家营、45 世园会园区),大清河水系 1 个(46 八渡),蓟运河水系 2 个(47 海子水库东湖、48 海子水库坝前)。

1.2 样品采集

样品采集时间为 2020 年 6—10 月,全年共采集 3 个轮次,分别设置在北京地区底栖动物生长发育的 3 个主要季节(6、8 和 10 月)。在平原河流、湖泊和水库站点,利用彼得森采泥器(开口面积为 $1/16\text{ m}^2$)采集表层底泥,每个站点采集 2 次作为平行样品。在山区河流站点,利用 D 型网进行拖网式采集。将 D 型网采样框的底部紧贴河道底质,拖动采集面积为 1 m^2 ,每个站点采集 2 次作为平行样品。将上述采集到的底泥倒入 4.75 mm (40 目)金属筛中进行过滤,去除泥沙和杂物,将筛网上肉眼可见的贝类和虾类用镊子轻轻夹起,立即放入盛有 75%酒精的样品瓶内进行固定。将装有贝类和虾类的样品瓶置于 4℃ 车载冰箱中保存,当天运回实验室进行分类筛选和鉴定。

1.4 物种鉴定

采集的贝类和虾类样品直接用放大镜(145 mm, 澳德森)和体式显微镜(SZX7, 奥林巴斯)观察,参考有关分类资料进行种类鉴定,所有贝类和虾类均鉴定到种水平。

1.5 数据统计与分析

准确统计贝类和虾类物种的个体数量;根据个体数据计算出贝类和虾类的物种丰度(物种个体数量/所有物种个体总数量)和密度;利用分析天平称量贝类和虾类样品的湿重,并根据采样面积计算生物量。采用香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数与辛普森(Simpson)指数评价监测站点贝类和虾类种群的生物多样性。

香农-威纳指数计算公式: $H' = \sum_{i=1}^S (n_i/N) / \ln (n_i/N)$ 。其中, H' 为香农-威纳指数; N 为样品总个体数; n_i 为第*i*个分类单元的个体数; S 为样品分类单元数。

辛普森指数计算公式: $D = \sum_{i=1}^S P_i^2$ 。式中, D 为辛普森指数; S 为样品内总物种数; P_i 为第*i*个物种的个体总数与群落总个体数之比。

香农-威纳指数和辛普森指数的数值范围为[0, ∞]。数值愈大,表明监测区域内的贝类和虾类种类多、群落结构越复杂、生物多样性水平越高。

2 结果与分析

2.1 贝类和虾类物种组成与丰度

本研究在监测期间鉴定出的贝类和虾类物种较为丰富,共鉴定出贝类和虾类13科27种,其中,贝类11科22种,虾类2科5种,均能鉴定到种水平(表1)。从监测时间顺序分析,6月鉴定出贝类和虾类10科14种,其中,贝类8科10种,虾类2科4种;8月鉴定出贝类和虾类13科21种,其中,贝类11科17种,虾类2科4种;10月鉴定出贝类和虾类12科24种,其中,贝类10科19种,虾类2科5种。全年所鉴定出的贝类分别隶属于蚌科(2种)、扁蜷螺科(2种)、豆螺科(2种)、肋蜷科(1种)、膀胱螺科(1种)、球蚬科(1种)、椎实螺科(5种)、田螺科(4种)、狭口螺科(1种)、蛄科(1种)和贻贝科(1种),鉴定出的虾类分属于长臂虾科(2种)和匙指虾科(3种)。从水体类型分析,北京地区各监测站点贝类和虾类物种组成没有表现出显著差异。有个别站点没有监测到贝类和虾类样品,例如密云

水库的内湖和套里站点以及官厅水库的永1000站点等,这些站点位于水库类型水体的中心位置,贝类和虾类等底栖动物种类稀少。

在采集的样品中,角形环棱螺*Bellamya angularia* Benson物种丰度最高,共采集到1559个个体,占北京地区监测站点所有物种个体总数的35.49%。其次分别是纹沼螺*Parafossarulus striatulus* Benson(527个,占12.00%)和中华新米虾*Neocaridina denticulata sinensis* Kemp(507个,占11.54%)。此外,在监测的站点中纹沼螺分布最为广泛,在36个监测站点均有出现,占监测站点总数的75.00%;随后依次是角形环棱螺(出现在35个站点,占72.92%)和铜锈环棱螺*Bellamya aeruginosa* Reeve(出现在31个站点,占64.58%)。据此分析,本研究监测的北京地区所有站点贝类和虾类的优势物种为角形环棱螺、纹沼螺、中华新米虾和铜锈环棱螺。

2.2 贝类和虾类物种数量、密度及生物量

本研究在监测期间所有站点的平均物种数量、密度和生物量随季节变化呈现出先上升后下降的趋势(表2、图1)。6月物种数量最多的站点鉴定到贝类和虾类共8种,所有监测站点平均物种数为2.16种;个体数量最多的站点获得360个生物个体,所有监测站点平均个体数量为22.94个;生物量最多的站点达到201.69 g·m⁻²,所有监测站点平均生物量为14.89 g·m⁻²;密度最高的站点达到360.00个·m⁻²,所有监测站点平均密度为22.94个·m⁻²。8月物种数最多的站点鉴定到贝类和虾类10种,所有监测站点平均物种数为3.20种;个体数最多的站点获得1048个虾类和贝类个体,所有监测站点平均为46.43个;生物量最大的站点为高碑店湖(171.29 g·m⁻²),所有监测站点平均生物量为15.50 g·m⁻²;密度最高的站点为门城湖(1048.00个·m⁻²),所有监测站点平均密度为46.43个·m⁻²。10月物种数最多的站点鉴定到贝类和虾类为8种,所有监测站点平均物种数为2.88种;个体数最多的站点获得210个虾类和贝类个体,所有监测站点平均为16.76个;生物量最多的站点为玉渊潭西湖(301.30 g·m⁻²),所有监测站点平均生物量为18.63 g·m⁻²;密度最高的站点为玉渊潭西湖(210.00个·m⁻²),所有监测站点平均密度为46.43个·m⁻²。从水体类型角度分析,北京地区湖泊型水体贝类和虾类生物量和密度均较高,代表性站点如玉渊潭湖、高碑店湖和门城湖等。

表 1 北京地区贝类和虾类物种组成与丰度

Table 1 Species composition and abundance of shellfish and shrimp in all the sampling sites of Beijing area for the three sampling dates		
科 Family	种 Species	物种丰度 Species abundanc
蚌科 Unionidae	背角无齿蚌 <i>Sinanodonta woodiana</i>	+
	圆顶珠蚌 <i>Nodularia douglasiae</i>	+
扁蜷螺科 Planorbidae	尖口圆扁螺 <i>Hippeutis cantori</i>	+
	凸旋螺 <i>Gyraulus convexiusculus</i>	+
豆螺科 Bithyniidae	纹沼螺 <i>Parafossarulus striatulus</i>	++++
	长角涵螺 <i>Alocinma longicornis</i>	++
肋蜷科 Plenroseridae	方格短沟蜷 <i>Semisulcospira cancellata</i>	++
膀胱螺科 Physidae	尖膀胱螺 <i>Physella acuta</i>	+
球蚬科 Sphaeriidae	豌豆蚬 <i>Pisidium subtruncatum</i>	+
椎实螺科 Lymnaeidae	耳萝卜螺 <i>Radix auricularia</i>	++
	尖萝卜螺 <i>Radix acuminata</i>	+
	卵萝卜螺 <i>Radix ovata</i>	++
	椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>	+
	折叠萝卜螺 <i>Radix plicatula</i>	+
田螺科 Viviparidae	方形环棱螺 <i>Bellamyia quadrata</i>	++
	角形环棱螺 <i>Bellamyia angularia</i>	++++
	梨形环棱螺 <i>Bellamyia purificata</i>	+++
	铜锈环棱螺 <i>Bellamyia aeruginosa</i>	+++
狭口螺科 Stenothyridae	光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabra</i>	+
蚬科 Cyrenida	河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	+
	闪蚬 <i>Corbicula nitens</i>	+
	沼蛤 <i>Limnoperna fortunei</i>	++
贻贝科 Mytilidae	日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>	++
长臂虾科 Palaemonidae	中华小长臂虾 <i>Palaemonetes sinensis</i>	++
	多齿新米虾 <i>Neocaridina denticulate</i>	+++
匙指虾科 Atyidae	异足新米虾高丽亚种 <i>Neocaridina heteropoda koreana</i>	+
	中华新米虾 <i>Neocaridina denticulata sinensis</i>	++++

+、++、+++和++++分别表示对应物种占所有物种的比例<1%、1%~<5%、5%~<10%和>10%。
+, ++, +++ and ++++ indicated that the corresponding species accounted for <1%, 1%~<5%, 5%~<10% and >10% of all species, respectively.

2.3 贝类和虾类生物多样性

本研究在监测期间所有监测站点的贝类和虾类生物多样性随季节变化呈现出持续上升趋势(图2)。在6月,各个监测站点的香农-威纳指数平均值为0.43,辛普森指数平均为0.31。在8月,各个监测站点的香农-威纳指数平均值为0.66,辛普森指数平均为0.42。在10月,各个监测站点的香农-威纳指数平均值为0.73,辛普森指数平均为0.44。

综合来看,在所有43个监测站点中,18个站点在10月香农-威纳指数较高,12个站点在8月香农-威纳指数较高,7个站点在6月香农-威纳指数更高。同时,22个监测站点在10月辛普森指数较高,10个站点在8月辛普森指数较高,5个站点在6月辛普森指数较高。从水体类型角度分析,北京地区各监测站点贝类和虾类生物多样性没有显著差异。

表 2 北京地区贝类和虾类物种数量、个体数量、密度和生物量

Table 2 Species number, individual number, density and biomass of shellfish and shrimp in all the sampling sites of Beijing area for the three sampling dates

监测时间 Sampling time	指标 Index			
	物种数/种 Species number	个体数/个 Individual number	生物量 Biomass/(g·m ⁻²)	密度/(个·m ⁻²) Density
6月 June	2.16±1.62	22.94±57.15	14.70±37.41	22.94±57.15
8月 August	3.20±2.58	46.43±148.20	15.50±33.20	46.43±148.20
10月 October	2.88±2.21	16.76±36.10	18.63±45.24	16.76±36.10

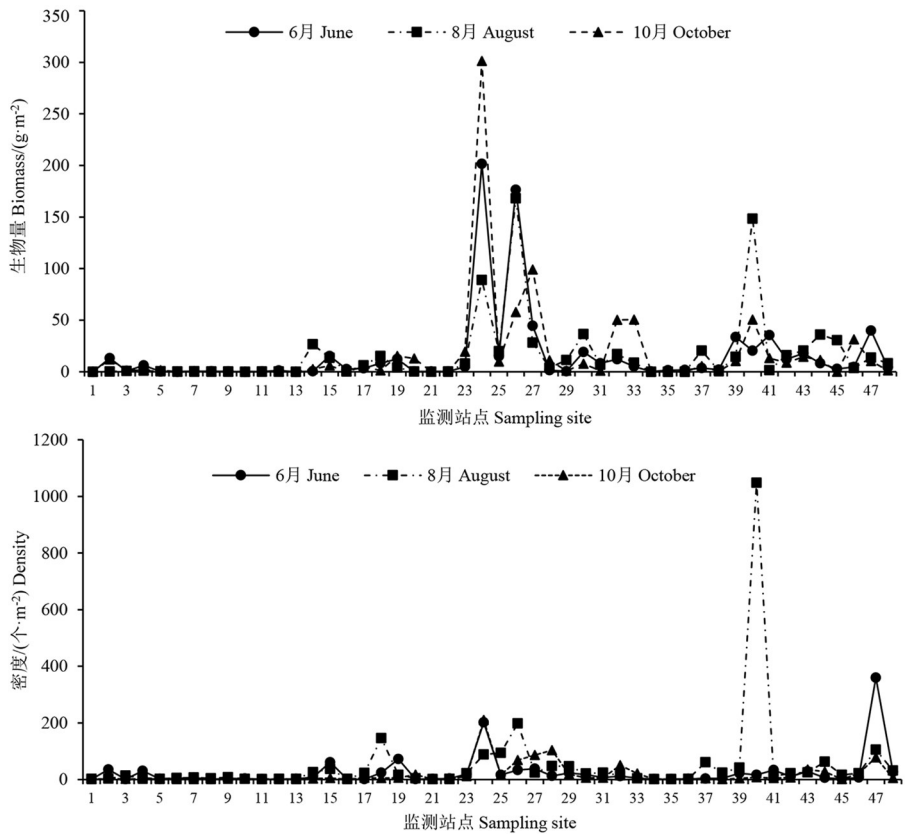


图 1 北京地区各监测站点贝类和虾类生物量与密度
Fig.1 Density and biomass of shellfish and shrimp in all the sampling sites of Beijing area for the three sampling dates

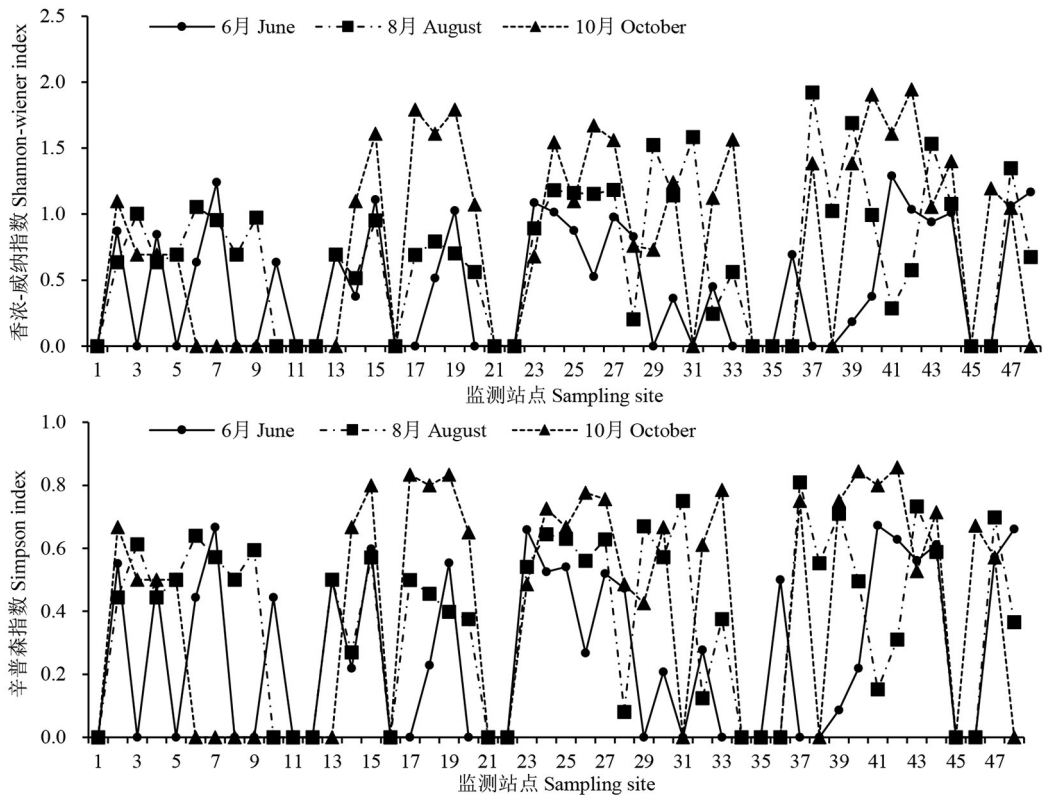


图 2 北京地区各监测站点贝类和虾类生物多样性
Fig.2 Biodiversity of shellfish and shrimp in all the sampling sites of Beijing area for the three sampling dates

2.4 入侵贝类沼蛤的分布、密度和生物量

本研究在玉渊潭西湖和龙潭闸 2 个站点分别采集获得了入侵贝类沼蛤的活体样品(图 3)。由图 4 可知,在玉渊潭西湖站点,沼蛤的生物量和密度均随着监测时间呈现逐渐增加的趋势,3 次监测的平均生物量为 8.71 g · m⁻²,平均密度为 16.67

个 · m⁻²,其中 10 月沼蛤密度较高,占该监测站点所有贝类和虾类总密度值的 20.45%。在龙潭闸站点,沼蛤的生物量和密度均随着监测时间呈现增加的趋势,3 次监测的平均生物量为 1.73 g · m⁻²,平均密度为 5.67 个 · m⁻²,其中 8 月沼蛤密度较高,占该监测站点所有贝类和虾类总密度值的 43.75%。

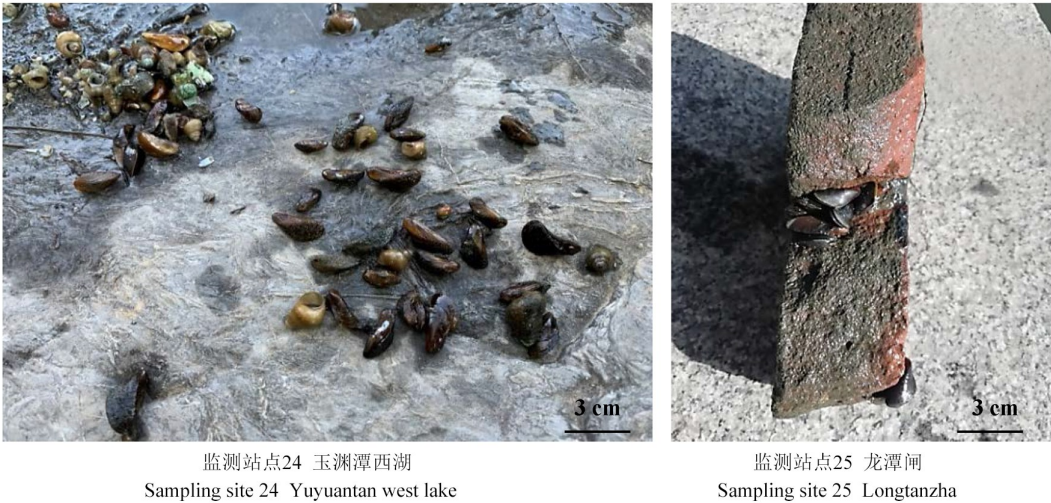


图 3 北京地区玉渊潭西湖和龙潭闸监测站点入侵贝类沼蛤的分布情况
Fig.3 Distribution of the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* in the Yuyuantan west lake and Longtanzha sampling sites of Beijing area

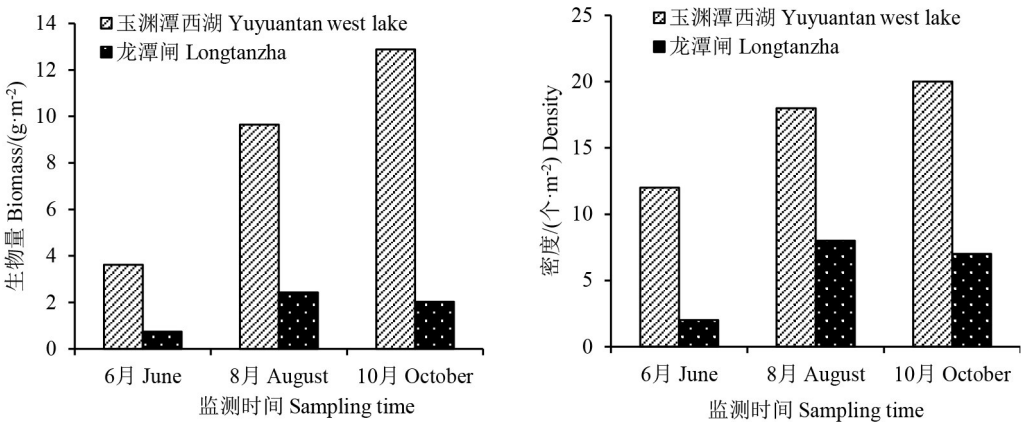


图 4 北京地区玉渊潭西湖和龙潭闸监测站点入侵贝类沼蛤的分布密度与生物量
Fig.4 Distribution density and biomass of the invasive golden mussel *L. fortunei* in the Yuyuantan west lake and Longtanzha sampling sites of Beijing area for the three sampling dates

3 讨论

3.1 北京地区贝类和虾类生物多样性

贝类和虾类是底栖动物类群中的代表性物种,对于维持水生生态系统健康和稳定至关重要。同时,以贝类和虾类为典型代表的底栖动物也被认为是水体环境污染的指示生物,在水体污染评价方面发挥了积极的作用(陈修报等,2021;渠晓东等,2021;王萌等,2022)。北京地区贝类和虾类资源

较为丰富,根据近些年底栖动物资源调查的相关报道可知,北京地区贝类和虾类物种等最高监测数量为 21 种,其中,贝类和虾类分别为 16 和 5 种(顾晓昀等,2018;贺玉晓等,2020;胡小红等,2022;李永刚等,2018;王旭等,2022;杨柏贺等,2019;张宇航等,2018,2020)。本研究共鉴定出贝类和虾类 27 种,其中,贝类 22 种,虾类 5 种,在物种数量特别是贝类物种数量上显著高于前期已报道的调查结果。

水生生物监测结果与监测站点和监测时间设置都有着密切的关系,本研究监测范围覆盖了水库、湖泊和河流等多种水体类型,且监测时间分别在底栖动物生长的萌发期、繁盛期和越冬前期,监测站点和监测时间的优化设置可能是贝类和虾类物种数量显著增加的重要原因。目前尚缺乏单独针对北京地区贝类和虾类监测结果的报道,因此对于物种组成方面的比较分析无法开展。但从现有信息来看,本研究鉴定出的贝类和虾类物种能够全部覆盖早期监测结果并有增量,是对北京地区贝类和虾类本底生物资源的有效补充。

从监测时间分析,北京地区贝类和虾类物种数量、生物量、密度和生物多样性随季节变化趋势明显。10月监测到的贝类和虾类种类最多,包括了19种贝类和5种虾类,随后依次是8和6月。而8月监测到的贝类和虾类个体数量最多,高于10和6月。另外,8月监测到的贝类和虾类的生物多样性也高于6月。这种季节性变化趋势与前期报道的北京北运河流域底栖动物监测结果是一致的,且本研究计算出的生物多样性指数也与前期监测结果一致,符合水生生物生长的季节性变化规律(杨柏贺等,2019)。大部分贝类和虾类在8月处于生长的繁盛时期,因此采集到的个体较多,生物量较大。对于虾类,全年3次监测期间物种组成差异不显著;而对于贝类,8和10月的物种数量明显高于6月。其中,8月贝类监测结果比6月监测时新增了背角无齿蚌 *Sinanodonta woodiana* (Heude)、光滑狭口螺 *Stenothyra glabra* A. Adams、尖口圆扁螺 *Hipp-eutis cantori* Benson、尖膀胱螺 *Physa acuta* Draparnaud、闪蛞 *Corbicula nitens* (Philippi)、铜锈环棱螺、椭圆萝卜螺 *Radix swinhoei* (H. Adams)、圆顶珠蚌 *Unio douglasiae* (Gray) 和长角涵螺 *Alocinma longicornis* Benson 等物种,而10月比6和8月监测结果新增了尖萝卜螺 *Radix acuminata* Lamark、凸旋螺 *Gyraulus convexiusculus* Hutton 和折叠萝卜螺 *Radi-plicatula* (Benson) 等物种。这些贝类物种的增加,对于丰富各个监测站点的底栖动物生物多样性起到了非常重要的作用。此外,随着季节的变化,贝类和虾类优势物种也发生了演变,全年3次监测的优势种类存在一定差异。在6月监测结果中,角形环棱螺、纹沼螺和耳萝卜螺是优势物种;8月则以角形环棱螺、中华新米虾、纹沼螺、长角涵螺和铜锈环

棱螺为优势物种;而铜锈环棱螺、角形环棱螺、中华新米虾和纹沼螺是10月监测结果中的优势物种。角形环棱螺、纹沼螺是全年3次采样的共有的优势物种,这类贝类在整个北京地区监测站点中分布广泛、物种丰度较高。纹沼螺是典型的清洁水体指示性物种,属于不耐受重污染胁迫的贝类(詹凡玢等,2015)。此种物作为本研究各个监测站点中的优势物种,从侧面说明近些年北京地区水体污染状况得到了改善,各个流域和水体类型的水生态健康状况持续向好。

从水体类型分析,本研究对北京地区贝类和虾类的监测结果未显示出显著差异,只是在几个湖泊型水体中贝类和虾类生物量和密度较高,代表性站点如玉渊潭湖、高碑店湖和莲石湖等。这些研究结果表明,北京地区各水体类型中贝类和虾类物种同质化程度较高。前期关于北京地区底栖生物的研究主要关注水体的空间差异,如山区河流和平原河流对底栖动物物种组成、密度、生物多样性的影响,显示出水体空间格局对底栖动物分布影响较为显著(张宇航等,2019)。水体类型也是影响水生生物分布的重要因素,本研究监测站点覆盖北京地区河流、湖泊、水库等不同水体类型,得出了贝类和虾类分布同质化程度较高的结论。底栖动物物种组成与功能同质化现象在其他流域淡水生态系统中也有被证实。例如,Zhang *et al.* (2019) 通过分析江淮流域中下游41个湖泊中大型无脊椎动物群落的分类和功能组成发现,湖泊富营养化是导致底栖动物种类组成同质化和功能同质化的主要原因。此外,刘波等(2021)和Zhang *et al.* (2022) 利用环境DNA技术分析北京地区鱼类多样性的相关研究也得出了相似的结论,并推测北京地区鱼类分布同质化的趋势可能是外来鱼类入侵导致的。上述结果说明,北京地区部分水生生物类群可能具有相似的同质化分布特点,而贝类和虾类产生的这一分布趋势的原因需要进一步分析确定,环境因素驱动还是生物入侵问题所导致的这种趋势目前并没有相关证据支撑,因为本研究显示北京地区贝类和虾类中只有沼蛤一种贝类为入侵性物种。

3.2 北京地区沼蛤的入侵风险

我国沼蛤生物入侵问题较为严重,自20世纪60年代开始该物种已经从原栖息地入侵到我国南方地区。此后,沼蛤借助航运等途径快速向我国长

江黄河等流域迁移,目前已经成功入侵到京津冀地区(Xu,2015)。前期监测显示,北京十三陵水库导流系统中曾出现大量入侵沼蛤聚集,影响水库安全运行(曹新垵等,2017;徐梦珍等,2012)。近期的一项研究显示,沼蛤对北方寒冷天气具有较强适应能力,能够在北京地区水体中顺利越冬,继续向我国北方入侵的可能性较高,需要引起相关部门的重视(Xia *et al.*,2021)。船舶运输、养殖引种、宠物饲养等都可能成为沼蛤入侵的途径,跨流域的输水调水工程也可能是引起沼蛤入侵的主要原因(曹新垵等,2017;赵楠楠和李垒,2019)。据报道,南水北调工程北京地区地下管网中也已经有沼蛤分布,虽然没有引起灾害事件,但是潜在的威胁也引起了水利工程运维部门的密切关注。本研究在监测北京地区贝类和虾类的同时,分析了北京市主要水体中入侵贝类沼蛤的分布情况。利用传统的底托网采样方法,从北京市北运河水系的2个监测站点玉渊潭西湖和龙潭闸分别捕获到沼蛤的活体样品。沼蛤入侵性极强,主要表现在其繁殖能力强,对于温度、盐度、溶解氧、pH等水体环境变化具有很好的适应能力。北运河水系的玉渊潭西湖和龙潭闸在本研究监测过程中的某一个时期沼蛤种群密度较高,说明在北京地区部分水体沼蛤已经大量繁殖,形成一定数量的种群并逐渐成为底栖动物中的优势物种。北运河水系在北京地区覆盖范围最大,接收南水北调来水补充的可能性也较高,是沼蛤入侵的潜在途径之一。目前,北京地区没有沼蛤大规模暴发并泛滥成灾的报道,这可能与北京地区纬度较高、平均温度较低等环境因素有关。但这并不代表没有入侵风险,因为已有报道显示,沼蛤可以在北京地区顺利越冬(Xia *et al.*,2021)。因此,可以推测北京地区沼蛤生物入侵的风险仍然较高,沼蛤种群分布范围逐渐扩大的趋势也较为明显,成为全市水生态系统健康和水利设施安全运行的潜在威胁。

综上所述,北京地区贝类和虾类资源较为丰富,但相关监测调查仍然没有全面覆盖本地贝类和虾类物种,在后续工作中应该加大监测力度,合理设置监测站点和监测时间,以期更加全面地了解北京本地贝类和虾类分布情况,充分挖掘它们的水生态指示功能,为水生态状况评估提供坚实的数据支撑。此外,在开展北京地区底栖动物监测的同时,也应密切关注入侵生物沼蛤的种群动态和入侵情

况。持续跟踪监测和研究沼蛤生物入侵问题,有利于维持北京地区水生生物多样性和生态系统健康,对于维护首都地区水生态安全也具有十分重要的战略意义。

参考文献

- 曹新垵,程婷婷,张雯雯,王敏,李玉仙,顾军农,2017.沼蛤在南水北调中线渠道沿程迁徙的研究.城镇供水(5):62-65.
- 陈修报,杨健,刘洪波,姜涛,2021.淡水贝类观察——生物阐释水污染和毒理的创新手段.湖泊科学,33(1):11-27.
- 陈义永,高养春,彭衡,熊薇,李世国,战爱斌,2018.松花江流域大型底栖动物群落结构与水质评价.生物安全学报,27(2):95-104.
- 邓智心,罗明珠,章家恩,2012.1981~2011年有关福寿螺研究的中文文献计量学分析.生物安全学报,21(4):300-307.
- 顾晓昀,徐宗学,刘麟菲,殷旭旺,王汨,2018.北京北运河河流生态系统健康评价.环境科学,39(6):2576-2587.
- 贺玉晓,李珂,任玉芬,王思琪,方文颖,2020.春季北京市河流大型底栖动物群落结构特征及影响因子分析.环境科学,41(6):2951-2962.
- 胡小红,左德鹏,刘波,黄振芳,徐宗学,2022.北京市北运河水系底栖动物群落与水环境驱动因子的关系及水生态健康评价.环境科学,43(1):247-255.
- 李朝,蔡吉林,杨靖,2018.徐州市云龙湖大型底栖动物群落演变及环境影响因子分析.生物安全学报,27(2):105-110.
- 李永刚,胡庆杰,曲疆奇,宗海明,王健,张清靖,2018.北京密云水库底栖动物群落结构及其时空变化.水生生态学杂志,39(5):31-38.
- 刘波,王浩,秦斌,范仲儒,熊薇,陈义永,2021.基于环境DNA宏条形码技术的北京地区鱼类多样性调查和外来鱼种入侵风险评估.生物安全学报,30(3):220-229.
- 鲁耀鹏,王冬梅,张秀霞,李军涛,郑佩华,冼健安,2017.淡水螯虾生理生态学与环境毒理学研究进展.生物安全学报,26(4):266-272.
- 倪平,董燕红,朱艾嘉,李海涛,熊薇,浦传亮,战爱斌,2014.人工拔除互花米草对红树林大型底栖动物群落的影响.生物安全学报,23(3):165-172.
- 渠晓东,陈军,陈皓阳,张敏,彭文启,朱磊,雷璇,2021.大型底栖动物快速生物评价指数在城市河流生态评估中的应用.水生生态学杂志,42(3):14-22.
- 王蝉娟,宋增福,鲁仙,王玲,骆楠,姚立农,张饮江,2021.我国福寿螺入侵现状和防控研究进展.生物安全学报,30(3):178-182.
- 王萌,苑艺,于海燕,贾显乐,黄浩然,陈月仙,金小伟,林晓龙,王备新,2022.中国淡水大型底栖无脊椎动物条

形码数据库构建. 中国环境监测, 38(1): 36–44.

王旭, 王恒嘉, 王永刚, 王琦琳, 李亚翠, 2022. 基于大型底栖动物完整性指数(B-IBI)的密云水库上游河流(北京段)水生生态健康评价. 生态与农村环境学报, 38(2): 157–167.

洗晓青, 王瑞, 陈宝雄, 张宏斌, 李垚奎, 万方浩, 张桂芬, 刘万学, 2022. 世界 100 种恶性外来入侵物种在我国大陆的入侵现状. 生物安全学报, 31(1): 9–16.

徐梦珍, 曹小武, 王兆印, 王旭昭, 2012. 输水工程中沼蛤的附着特性. 清华大学学报(自然科学版), 52(2): 170–176.

杨柏贺, 马思琦, 王汨, 徐宗学, 殷旭旺, 2019. 北运河水系大型底栖动物摄食功能群多样性及时空分布特征. 河南师范大学学报(自然科学版), 47(1): 105–111.

詹凡玢, 黎洁, 李军涛, 仲嘉, 肖爽, 张大龙, 王卫民, 2015. 海河流域黑龙港运东水系大型底栖无脊椎动物多样性研究. 中国农学通报, 31(20): 25–34.

张宇航, 张敏, 彭文启, 张海萍, 渠晓东, 罗遵兰, 2020. 永定河流域大型底栖动物群落分布格局及其影响因子. 应用生态学报, 31(11): 3880–3888.

张宇航, 张敏, 张海萍, 余杨, 王永刚, 孙仕军, 渠晓东, 2018. 北京河流大型底栖动物空间格局及其环境响应研究. 生态毒理学报, 13(4): 101–110.

赵楠楠, 李垒, 2019. 南水北调中线工程潜在水生态风险分析. 北京水务(2): 49–52.

GHERARDI F, AQUILONI L, DIÉGUEZ-URIBEONDO J, TRICARICO E, 2011. Managing invasive crayfish; is there a hope? *Aquatic Sciences*, 73(2): 185–200.

LI S G, XIA Z Q, CHEN Y Y, GAO Y C, ZHAN A B, 2018. Byssus structure and protein composition in the highly invasive fouling mussel *Limnoperna fortunei*. *Frontiers in Physiology*, 9: 418.

XIA Z Q, BARKER J R, ZHAN A B, HAFFNER G D, MACISAAC H J, 2021. Golden mussel (*Limnoperna fortunei*) survival during winter at the northern invasion front implies a potential high-latitude distribution. *Diversity and Distribution*, 27(8): 1422–1434.

XU M Z, 2015. Distribution and spread of *Limnoperna fortunei* in China//BOLTOVSKOY D. *Limnoperna Fortunei: the ecology, distribution and control of a swiftly spreading invasive fouling mussel*. Berlin: Springer International Publishing: 313–320.

ZHANG S, ZHENG Y, ZHAN A, DONG C, ZHAO J, YAO M, 2022. Environmental DNA captures native and non-native fish community variations across the lentic and lotic systems of a megacity. *Science Advances*, 8(6): eabk0097.

ZHANG Y, CHENG L, LI K, ZHANG L, CAI Y, WANG X, HEINO J, 2019. Nutrient enrichment homogenizes taxonomic and functional diversity of benthic macroinvertebrate assemblages in shallow lakes. *Limnology and Oceanography*, 64(3): 1047–1058.

(责任编辑:郑珊珊)