

· 论 著 ·

· 水中尸体研究专题 ·

京杭大运河通航段水域硅藻分布

吴佳莉, 徐国婧, 韦笑笑, 于艳君, 王少杰, 任雯丽, 崔文, 苏潇男

济宁医学院, 山东 济宁 272067

摘要: 目的 通过对京杭大运河通航段全段水域水样中硅藻数量、种类的分布和差异进行分析, 建立硅藻数据库, 为推断溺水地点提供参考。方法 在京杭大运河通航段(济宁段—常州段)中选取22个采样点采集水样, 采用石墨消解-扫描电子显微镜法对各采样点的硅藻进行定性和定量分析。结果 采样点T(江苏省扬州市高邮市老淮江线)检出硅藻数量最多, 采样点O(江苏省宿迁市泗阳县)检出硅藻数量最少, 两者硅藻数量差距较大, 达68倍。采样点Q(江苏省淮安市江浦区)硅藻藻属最多, 为19种; 采样点O硅藻藻属最少, 为7种, 各采样点在物种均匀度、物种多样性上差异无统计学意义($P>0.05$)。部分采样点拥有特征藻属, 如采样点A(山东省微山县太白湖景区)存在美壁藻属、采样点B(山东省微山县南阳古镇)存在弯楔藻属、采样点I(山东省枣庄市台儿庄区)存在双眉藻属、采样点J(江苏省徐州市邳州市310国道)存在窗纹藻属。结论 硅藻物种丰富度呈由北向南逐渐增加的趋势, 环境复杂、人流量大的地区硅藻种属较丰富, 物种多样性较高。气候类型对于硅藻藻属分布具有一定影响。

关键词: 法医病理学; 溺死; 硅藻; 石墨消解-扫描电子显微镜法; 京杭大运河

中图分类号: DF795.1 文献标志码: A doi: 10.12116/j.issn.1004-5619.2021.410917

文章编号: 1004-5619(2022)01-0086-06



Distribution of Diatoms in the Navigable Sections of Beijing-Hangzhou Grand Canal

WU Jia-li, XU Guo-jing, WEI Xiao-xiao, YU Yan-jun, WANG Shao-jie, REN Wen-li, CUI Wen, SU Xiao-nan

Jining Medical University, Jining 272067, Shandong Province, China

Abstract: **Objective** To establish a diatom database by analyzing the quantity, species distribution and differences of diatom in water samples of the whole navigable sections of the Beijing-Hangzhou Grand Canal, to provide a reference for the inference of the drowning site. **Methods** Water samples were collected at 22 sites in the navigable sections of the Beijing-Hangzhou Grand Canal (Jining section to Yangzhou Section), and the diatoms at each site were qualitatively and quantitatively analyzed by using graphite digestion-scanning electron microscopy. **Results** Sampling site T (Laohuaijiang River Line, Gaoyou City, Yangzhou City, Jiangsu Province) had the highest number of diatoms, while sampling site O (Siyang County, Suqian City, Jiangsu Province) had the lowest number of diatoms, with a large gap of 68 times. At sampling site Q (Jiangpu District, Huai'an city, Jiangsu Province), there were 19 species of diatoms. The sampling site O had the least diatoms, with 7 species. There were no significant differences in species evenness and species diversity at each sampling site ($P>0.05$). Some sampling sites have characterized diatoms, such as *Caloneis* at station A (Taibai Lake, Weishan County, Shandong Province), *Rhoicosphenia* at station B (Nanyang Town, Weishan County, Shandong Province), *Amphora* at station I (Taierzhuang District, Zaozhuang City, Shandong Province) and *Epithemia* at station J (Pizhou 310 national highway, Xuzhou City, Jiangsu Province). **Conclusion** The species richness of diatoms gradually increased from north to south. Diatom species richness and species diversity might be higher in areas with complex environments and large population flow. Climate type has a certain influence on the distribution of diatoms.

Keywords: forensic pathology; drowning; diatom; graphite digestion-scanning electron microscopy; Beijing-Hangzhou Grand Canal

基金项目: 济宁医学院2021年大学生创新训练计划资助项目(cx2021013)

作者简介: 吴佳莉(2001—), 女, 主要从事法医病理学研究; E-mail: 1395906712@qq.com

通信作者: 苏潇男, 男, 硕士, 主要从事法医病理学研究; E-mail: 873068090@qq.com

通信作者: 崔文, 男, 博士, 教授, 主要从事法医病理学研究; E-mail: cuiwenmd@163.com

引用格式: 吴佳莉, 徐国婧, 韦笑笑, 等. 京杭大运河通航段水域硅藻分布[J]. 法医学杂志, 2022, 38(1): 86-91, 97.

To cite: WU J L, XU G J, WEI X X, et al. Distribution of diatoms in the navigable sections of Beijing-Hangzhou Grand Canal[J]. *Fayixue Zazhi*, 2022, 38(1): 86-91, 97.

硅藻检验技术是溺死诊断、溺水地点推断等法医学实践最常用的检测方法之一^[1]。硅藻作为一种广泛存在于水域中的单细胞藻类,对环境十分敏感^[2],其分布具有明显的区域性特征^[2-4]。将死者器官中所检硅藻藻属与尸体发现地水域硅藻进行对比,可对溺水地点的判断提供参考。法医学领域已开始致力于建立部分重要水域的硅藻数据库以便在实践中进行查找对比^[5],如北京^[6]、苏州^[7]的城中水域、珠江流域广东段^[8]、长江和嘉陵江重庆主城区段^[9]等。京杭大运河通航段(山东济宁—江苏常州)全长约900 km,年通过能力达9.5亿吨,从古至今都是京杭大运河重要的航运路线。京杭大运河横跨两省,且经过秦岭—淮河一线,从上游到下游不论是气候、降雨量,还是人文环境都具有巨大差异^[10]。京杭大运河作为世界上里程最长、工程最大的古代运河,在中国仅次于长江的第二条“黄金水道”^[11],溺亡案件在此水域的发生率也极高,因此具有重大研究价值。本研究拟调查京杭大运河通航段(浙江杭州通航量较少,未纳入本次研究)的硅藻分布规律,建立该水域硅藻数据库,为公安机关侦破案件提供参考。

1 材料与方法

1.1 试剂和仪器

硝酸(65%~68%,分析纯)、过氧化氢(30%,分析纯)、无水乙醇(分析纯)、甲醛溶液(分析纯)均购自烟台远东精细化工有限公司。

BHW-09A16消解仪(上海博通化学科技有限公司),HL-6多联真空抽滤仪(珠海黑马医学仪器有限公司),DiatomScope™ XL系统[复纳科学仪器(上海)有限公司],有机滤膜(直径25.00 mm,孔径0.45 μm,广州益典实验设备有限公司),Multiwave PRO微波消解系统(奥地利Anton Paar公司),SBC-12型离子溅射仪(北京中科科仪股份有限公司)。

1.2 采样点

在京杭大运河通航段(济宁段—常州段)进行实地勘验,随机确定22个采样点,于2021年4月进行水样采集,每个采样点采集1次。采样点具体位置见表1。采样点E、G附近为微山湖,采样点K附近为船闸口,采样点L附近为码头。采样点A~Q属于温带季风气候,采样点R~V属于亚热带气候。

表1 各采样点情况

Tab. 1 Information of each sampling sites

采样点	所在省份	所在地	经度	纬度	采样点间距离
A	山东省	微山县太白湖景区	E116.59°	N35.33°	—
B	山东省	微山县南阳古镇	E116.68°	N35.10°	B-A:45 km
C	山东省	微山县张楼镇	E116.96°	N34.88°	C-B:34 km
D	山东省	微山县沿河二村	E117.07°	N34.81°	D-C:18 km
E	山东省	微山岛风景区	E117.26°	N34.66°	E-D:23 km
F	山东省	微山县韩庄镇	E117.35°	N34.60°	F-E:25 km
G	山东省	微山县韩庄镇	E117.39°	N34.58°	G-F:13 km
H	山东省	枣庄市峰城区	E117.54°	N34.57°	H-G:22 km
I	山东省	枣庄市台儿庄区	E117.71°	N34.55°	I-H:24 km
J	江苏省	徐州市邳州市310国道	E117.80°	N34.48°	J-I:16 km
K	江苏省	徐州市邳州市建设南路	E117.94°	N34.30°	K-J:28 km
L	江苏省	宿迁市宿豫区骆马湖二线	E118.08°	N34.15°	L-K:32 km
M	江苏省	宿迁市宿豫区皂河镇	E118.11°	N34.09°	M-L:22 km
N	江苏省	宿迁市宿豫区张涧线	E118.42°	N33.83°	N-M:32 km
O	江苏省	宿迁市泗阳县	E118.69°	N33.69°	O-N:33 km
P	江苏省	淮安市淮安区井神路	E119.12°	N33.50°	P-O:47 km
Q	江苏省	淮安市江浦区	E119.12°	N33.50°	Q-P:12 km
R	江苏省	淮安市淮安区老淮江	E119.33°	N33.17°	R-Q:15 km
S	江苏省	扬州市宝应县	E119.33°	N33.17°	S-R:27 km
T	江苏省	扬州市高邮市老淮江线	E119.42°	N32.83°	T-S:70 km
U	江苏省	扬州市江都区邵伯古镇景区	E119.50°	N32.52°	U-T:83 km
V	江苏省	常州市武进区太湖庄园	E120.09°	N31.46°	V-U:121 km

1.3 水样的采集及保存

在各采样点,于运河水面中央水下0.5 m处取500 mL水样。水样带回后用5层医用纱布进行过滤除杂,更换新纱布后重复进行3次,接着加入25 mL甲醛溶液于除杂后的滤液,使之固定并存放于阴凉处。

1.4 石墨消解-扫描电子显微镜法

1.4.1 硅藻检验

取5 mL水样置于消解管中,加入6 mL硝酸。在BHW-09A16消解仪中以110℃加热1 h,待冷却至室温22℃后,加入50 mL纯水稀释。再采用HL-6多联真空抽滤仪进行真空抽滤,将硅藻富集于半径8 mm的圆形有机滤膜富集区上,以便最大程度地获得硅藻数量、种类的准确数据。抽滤完毕后,加入50 mL超纯水,再加入5 mL乙醇以加速滤膜干燥。将有机滤膜取下烘干,贴在样品座上,SBC-12型离子溅射仪进行真空喷镀金膜后,用DiatomScope™ XL系统分析。

1.4.2 硅藻图像采集并观察

采用抽样调查方法,每个样品随机抽取25%的面积,利用DiatomScope™ XL系统(加速电压2.00 kV)在1 500×下对直径8 mm的每个圆形样品随机抽取1 500张图像,并根据形态学特征进行人工计数,以采样点所在省份分地区记录硅藻数量、纲目、所属种属以及特征藻属(指仅此采样点拥有,而其他采样点不存在的藻属)。硅藻计数参考文献[12]。

1.5 各类指数分析

计算各采样点硅藻含量(C)、硅藻构成比(R_i)、物种优势度指数(Y)、Shannon-Wiener指数(H')、Margalef指数(d_{ma})、Pielou指数(J)、Simpson指数(D),各采样点硅藻含量、硅藻构成比应用SPSSAU v21.0(<https://www.spssau.com>,北京青丝科技有限公司)进行统计学分析,对物种均匀度(Pielou指数)和物种多样性指数(Shannon-Wiener指数)进行 t 检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。公式如下:

$$\text{各采样点硅藻含量: } C = \frac{N}{V \times 91\%}, \quad (1)$$

式中, C 表示水样中硅藻的含量, N 表示观察到的硅藻总数, V 表示水样体积。

$$\text{各采样点硅藻构成比: } R_i = \frac{n_i}{N} \times 100\%, \quad (2)$$

式中, i 表示某个硅藻种属, R_i 表示第 i 类硅藻藻属占比, n_i 表示 i 类硅藻藻属的硅藻数量, N 表示观察到的硅藻总数。

$$\text{物种优势度指数}^{[13]}: Y = \left(\frac{n_i}{N} \right) \times f_i, \quad (3)$$

式中, n_i 表示第 i 类硅藻的数量, N 表示硅藻总数。 f_i 表示样品中某类硅藻出现的频率。当 $Y>0.02$ 即为

优势藻属。

$$\text{Shannon-Wiener指数}^{[14]}: H' = \sum_{i=1}^S P_i \times \log_2 P_i, \quad (4)$$

式中, $P_i = \frac{n_i}{N}$, P_i 表明第 i 个种属的相对多度, S 表示群落中所有硅藻藻属数量, i 表示某个硅藻种属, n_i 表示第 i 类硅藻的数量, N 表示观察到的硅藻总数。Shannon-Wiener指数基于物种数量反映群落种类多样性,群落中生物种类增多代表群落的复杂程度增高,即 H' 值越大,群落所含的信息量越大。

$$\text{Margalef指数}^{[15]}: d_{ma} = \frac{S-1}{\ln N}, \quad (5)$$

式中, S 表示群落中所有硅藻藻属数量, N 表示硅藻总数。Margalef指数反映群落物种丰富度,指一个群落或环境中物种数目的多寡,亦表示生物样品中种类丰富度程度。

$$\text{Pielou指数}^{[16]}: J = \frac{H'}{H_{\max}}, \quad (6)$$

式中, $H_{\max} = \log_2 S$, $H_{\max}$ 表示最大的物种多样性指数, S 表示群落中硅藻藻属数量, H' 表示Shannon-Wiener指数,Pielou指数代表硅藻群落中各种属分布的相对集中度。

$$\text{Simpson指数}^{[17]}: D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2, \quad (7)$$

式中, $P_i = \frac{n_i}{N}$, P_i 表示第 i 类藻属的相对多度, S 表示群落中所有硅藻藻属数量, i 表示硅藻种属, n_i 表示第 i 类硅藻的数量, N 表示观察到的硅藻总数。

2 结 果

2.1 硅藻数量

共检出硅藻9 666个。整体看来,各采样点硅藻种属含量有所差异,硅藻数量最多的采样点T(1 564个)是数量最少采样点O(23个)的68倍(表2)。

2.2 优势藻属

共检出24种硅藻,分属中心纲、羽纹纲两纲(图1),其中圆筛藻属、冠盘藻属、菱形藻属分别占约16.02%、12.18%和11.30%,位列前三。温带季风气候地区的各采样点(采样点A~Q)检出24种5 578个硅藻,优势藻属为圆筛藻属、针杆藻属、舟形藻属、卵形藻属、冠盘藻属、海链藻属、小环藻属、直链藻属、等片藻属、脆杆藻属。亚热带气候地区的各采样点(采样点R~V)检出20种4 088个硅藻,优势藻属为圆筛藻属、冠盘藻属、等片藻属、菱形藻属、舟形藻属。采样点Q不同硅藻藻属(19种)最多,采样点O不同硅藻藻属(7种)最少(图2)。

各采样点硅藻主要藻属较为一致,采样点A、B、I、J均具有特征藻属,分别为美壁藻属、弯楔藻属、双

眉藻属、窗纹藻属。

表2 各采样点硅藻含量

Tab. 2 Diatom content at each sampling site

采样点	总硅藻数/个	硅藻含量/(个·mL ⁻¹)
A	306	67.25
B	425	93.41
C	100	21.98
D	88	19.34
E	346	76.04
F	691	151.87
G	423	92.97
H	315	69.23
I	658	144.62
J	965	212.09
K	211	46.37
L	95	20.88
M	329	72.31
N	41	9.01
O	23	5.05
P	42	9.23
Q	414	90.99
R	803	176.48
S	250	54.95
T	1 564	343.74
U	587	129.01
V	884	194.29



图1 京杭大运河通航段各采样点主要藻属构成比

Fig. 1 Composition ratio of main diatoms at each sampling site in the navigation section of Beijing - Hangzhou Grand Canal

从物种优势度指数(Y)发现,各采样点优势藻属以中心纲为主,部分采样点为羽纹纲。

从表3可见,采样点J、Q的物种优势度较大,藻属少;采样点N的物种优势度较小,种类多。

2.3 各生物指数分布

Pielou指数(J)、Simpson指数(D)曲线相对平稳,

Shannon-Wiener指数(H')、Margalef指数(d_{ma})曲线有一定起伏(图3),其中,船闸口、码头、微山湖附近采样点(即采样点E、G、K、L)的Shannon-Wiener指数(H')偏低。

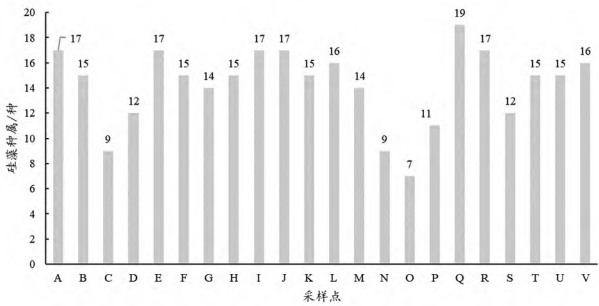


图2 各采样点硅藻藻属数量

Fig. 2 Number of diatom species at each sampling site

表3 各采样点优势藻属

Tab. 3 Dominance diatom species at each sampling site

采样点	优势藻属[优势度指数(Y)]
A	圆筛藻属(0.1540)、针杆藻属(0.0323)
B	针杆藻属(0.0745)、舟形藻属(0.0554)
C	圆筛藻属(0.0484)、针杆藻属(0.0324)、舟形藻属(0.0361)
D	针杆藻属(0.1670)、舟形藻属(0.0373)
E	卵形藻属(0.0364)
F	冠盘藻属(0.1030)、海链藻属(0.0399)
G	冠盘藻属(0.0282)、海链藻属(0.0358)、小环藻属(0.0274)
H	冠盘藻属(0.0213)、海链藻属(0.0466)
I	冠盘藻属(0.0344)、海链藻属(0.1030)、小环藻属(0.0240)
J	冠盘藻属(0.1030)
K	海链藻属(0.0415)、圆筛藻属(0.0202)
L	针杆藻属(0.0217)
M	冠盘藻属(0.0765)、直链藻属(0.0851)
N	冠盘藻属(0.0291)、圆筛藻属(0.0214)、直链藻属(0.1005)、等片藻属(0.0214)
O	圆筛藻属(0.0681)、脆杆藻属(0.0302)
P	直链藻属(0.0459)
Q	舟形藻属(0.1460)
R	圆筛藻属(0.0304)、等片藻属(0.0614)、舟形藻属(0.0363)
S	冠盘藻属(0.0243)、圆筛藻属(0.1102)
T	菱形藻属(0.0453)、舟形藻属(0.0492)
U	菱形藻属(0.0320)
V	菱形藻属(0.1099)、舟形藻属(0.0642)

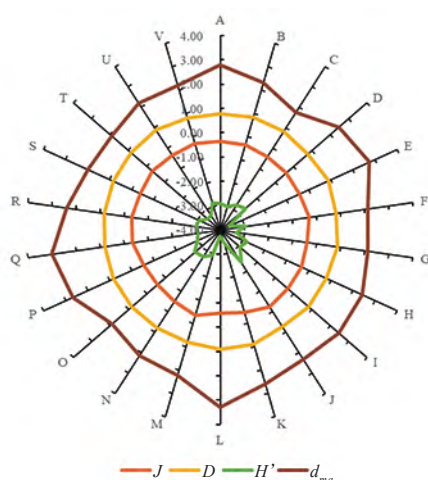


图3 各采样点 Pielou 指数(J)、Simpson 指数(D)、Shannon-Wiener 指数(H')、Margalef(d_{ma}) 指数对比图

Fig. 3 Comparing diagram of the Pielou (J), Simpson (D), Shannon-Wiener (H') and Margalef (d_{ma}) indexes of each sampling site

3 讨论

由于水体运动、人类活动等一系列因素,尸体发现地点往往并非实际入水地点,因此,对于入水地点的判断成为法医学实践的重要环节。目前能作为溺死地点推断标志物的主要有异物颗粒、硅藻与其他浮游生物(如蓝藻、绿藻等)三大类^[18]。在这三者中,硅藻检验拥有较为稳定且能广泛应用的特点,硅藻检验技术从最早的化学消化法,再到酶消化法,到如今最高效的微波消解-真空抽滤-扫描电子显微镜法,呈现日渐成熟趋势。研究^[19]发现,通过建立区域性溺死多发河段硅藻数据库,利用相似系数、差异系数及聚类分析进行落水地点推断具有一定可行性。目前,在刑事案件侦查中,法医通过对溺液中硅藻藻属和数量的检验统计,判断其与实地水样是否一致,已有将硅藻检验用于推断溺亡位置的实际应用案例^[20],南京市公安局在某一河道中发现1具未知名女童尸体,初步确定漂流范围后,法医工作者选取5个采样点进行水样采集,计算死者肺组织中优势硅藻群落与5处水样中硅藻群落的Sprensen相似系数和平方弦距离,分析硅藻种属构成的相似性,最终排除尸体漂流的可能,推断落水地点即为发现尸体现场附近。

人在溺水过程中必然会挣扎并吸入大量河水进入消化道和呼吸道,进入呼吸道内的溺液最具研究价值^[21]。基于硅藻对环境的敏感性,本研究结果显示,各采样点之间优势藻属不尽相同,且优势度也具有一定差异。由于山东省、江苏省所处地理位置特殊,恰巧处于淮河一线两边,而秦岭-淮河一线正是我国南

北方地理分界线,两省一南一北,具有鲜明的地理特性,具有研究价值。结合前期研究结果^[12],本研究结果再次印证硅藻在物种丰富度上可能呈由北向南逐渐增加的趋势。部分采样点有特征藻属,如采样点A、B、I、J的特征藻属分别为美壁藻属、弯楔藻属、双眉藻属、窗纹藻属。在检验中,特征藻属能使检验人员快速识别水样来源河段,从而判断尸体发现地是否为死亡地点。

本研究通过 Shannon-Wiener 指数(H')分析发现,位于船闸口、码头、微山湖这类环境复杂、人流量大的地区的采样点(如采样点E、G、K、L)硅藻藻属可能比较丰富,物种多样性可能较高。过于频繁的人类活动对水体环境产生影响,影响水体中硅藻分布,引起数量和种属的差异。此外,京杭大运河作为我国南水北调工程东线的主要输水渠道,途径江苏省、山东省多地。山东省济宁市、枣庄市属于温带季风气候。在江苏省淮安市淮河苏北灌溉总渠以北的徐州市、宿迁市均为温带季风气候,其以南的扬州市为亚热带季风性湿润气候向温带季风气候的过渡区、镇江市为亚热带季风气候,常州市为亚热带海洋性气候。本研究通过物种优势度指数(Y),确定各采样点优势藻属,经分析发现,属于温带季风气候地区的各采样点(采样点A~Q)硅藻优势藻属以中心纲为主,羽纹纲优势藻属较少;而属于亚热带气候地区的各采样点(采样点R~V)硅藻优势藻属均无中心纲,大多具有共同优势藻属——菱形藻属。即在不同气候带,硅藻分布具有一定藻属差异,后续可以进行深入研究,有助于跨省或者地理位置跨度大的溺水案件的侦查。

本研究由于采样点较少、取样时间单一,可能与实际数据存在一定偏差,后期将增加采样点和采样时间的多样性,以完善相关数据。

参考文献:

- [1] 周圆圆. 基于人工智能深度学习技术自动化硅藻检验的法医学应用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古医科大学, 2020.
ZHOU Y Y. The forensic application of automation diatom test based on artificial intelligence deep learning[D]. Hohhot: Inner Mongolia Medical University, 2020.
- [2] 刘萌妍, 赵伟, 赵怡. 硅藻检验方法及其在法医学溺死诊断中的应用现状[J]. 刑事技术, 2019, 44(4): 343-346. doi:10.16467/j.1008-3650.2019.04.013.
LIU M Y, ZHAO W, ZHAO Y. Diatom test: Development and application status in forensic diagnosis of drowning[J]. Xingshi Jishu, 2019, 44(4): 343-346.
- [3] 田露, 臧士博, 邱志军. 上海市浦东新区川杨河水域硅藻分布及其法医学应用[J]. 法医学杂志, 2014, 30(2): 114-116.

- doi:10.3969/j.issn.1004-5619.2014.02.009.
- TIAN L, ZANG S B, QIU Z J. Distribution of diatoms in Chuanyang river of Pudong new area of Shanghai and its forensic application[J]. *Fayixue Zazhi*, 2014, 30(2):114-116.
- [4] THAKAR M K, SINGH R. Diatomological mapping of water bodies for the diagnosis of drowning cases[J]. *J Forensic Leg Med*, 2010, 17(1):18-25. doi:10.1016/j.jflm.2009.07.016.
- [5] 赵建,徐伦武,康晓东,等.溺死地点推断的研究进展[J]. *法医学杂志*, 2018, 34(1):55-59. doi:10.3969/j.issn.1004-5619.2018.01.011.
- ZHAO J, XU L W, KANG X D, et al. Research progress on determination of drowning site[J]. *Fayixue Zazhi*, 2018, 34(1):55-59.
- [6] 李立平,孙婷怡,刘鸿霞,等.北京中心城区水域硅藻的分布[J]. *法医学杂志*, 2012, 28(4):265-268. doi:10.3969/j.issn.1004-5619.2012.04.006.
- LI L P, SUN T Y, LIU H X, et al. Distribution of diatoms in central city of Beijing[J]. *Fayixue Zazhi*, 2012, 28(4):265-268.
- [7] 白英杰,秦冬梅,章天驰,等.苏州中心城区水域春季硅藻分布的调查[C].北京:全国第九次法医学术交流会,2013.
- BAI Y J, QIN D M, ZHANG T C, et al. Investigation of spring diatom distributions in waters of central urban areas of Suzhou[C]. Beijing: The Ninth National Academy Meeting of Forensic Sciences, 2013.
- [8] 黄建文,胡孙林,温锦锋,等.珠江流域广东段硅藻分布及法医学的应用[C].北京:全国第九次法医学术交流会,2013.
- HUANG J W, HU S L, WEN J F, et al. Distribution of diatoms in Guangdong region of Zhujiang River Basin and application to forensic medicine[C]. Beijing: The Ninth National Academy Meeting of Forensic Sciences, 2013.
- [9] 代亚磊.长江、嘉陵江重庆主城区段硅藻四季分布情况研究及其数据库的建立[D].重庆:重庆医科大学, 2019.
- DAI Y L. Study on the distribution of diatoms in the Yangtze River and Jialing River of Chongqing main districts in the four seasons and the establishment of its database[D]. Chongqing: Chongqing Medical University, 2019.
- [10] 刘祖宁,张瑾明,吴新燕.京杭运河山东段枯水期安全通航策略研究[J]. *中国水运(下半月)*, 2015, 15(2):22-23, 25.
- LIU Z N, ZHANG J M, WU X Y. Study on safe navigation strategy in dry season in the Shandong section of Beijing Hangzhou canal[J]. *Zhongguo Shuiyun (Xiabanyue)*, 2015, 15(2):22-23, 25.
- [11] 赵子琴.法医病理学[M].4版.北京:人民卫生出版社,2009.
- ZHAO Z Q. Forensic pathology[M]. 4th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2009.
- [12] 苏潇男,韩笑,方赞,等.京杭大运河济宁段秋冬季硅藻分布及法医学应用[J]. *中国法医学杂志*, 2020, 35(3):290-295. doi:10.13618/j.issn.1001-5728.2020.03.011.
- SU X N, HAN X, FANG Y, et al. Distribution of diatoms in Jining section of Beijing-Hangzhou canal in autumn and winter and its forensic application[J]. *Zhongguo Fayixue Zazhi*, 2020, 35(3):290-295.
- [13] ELLA POTAKA. Evaluation of the efficiency of four diatom extraction methods from a range of fabrics: A new tool for forensic reconstruction[D]. Murdoch University, 2017.
- [14] COELHO S, RAMOS P, RIBEIRO C, et al. Contribution to the determination of the place of death by drowning - A study of diatoms' biodiversity in Douro River Estuary[J]. *J Forensic Leg Med*, 2016, 41:58-64. doi:10.1016/j.jflm.2016.04.007.
- [15] GUPTA V, ROHATGI S. Examination of fresh water diatoms of southern range of Himachal pradesh -- A forensic approach[J]. *J Adv Res Appl Sci*, 2018, 5(4):203-207.
- [16] KAKIZAKI E, KOZAWA S, SAKAI M, et al. Numbers, sizes, and types of diatoms around estuaries for a diatom test[J]. *Am J Forensic Med Pathol*, 2011, 32(3):269-274. doi:10.1097/paf.0b013e318221b857.
- [17] 王磊,王杰,黄映康.贵阳市区不同水域硅藻检验在鉴定溺死中的应用[J]. *贵阳医学院学报*, 2001, 26(6):529-530. doi:10.19367/j.cnki.1000-2707.2001.06.028.
- WANG L, WANG J, HUANG Y K. Application of diatom examination in different waters of Guiyang City in the identification of drowning[J]. *Guiyang Yixueyuan Xuebao*, 2001, 26(6):529-530.
- [18] 赵建,胡孙林,刘超,等.硅藻检验方法综述[J]. *刑事技术*, 2012(2):44-47. doi:10.16467/j.1008-3650.2012.02.006.
- ZHAO J, HU S L, LIU C, et al. Advances in the research of diatom test[J]. *Xingshi Jishu*, 2012(2):44-47.
- [19] 倪自翔,谢琼,易旭夫.成都市主城区水中尸体多发河流区段硅藻分布[J]. *法医学杂志*, 2016, 32(5):332-337. doi:10.3969/j.issn.1004-5619.2016.05.004.
- NI Z X, XIE Q, YI X F. Distribution of diatoms in main sections of urban district rivers with drowning-prone in Chengdu[J]. *Fayixue Zazhi*, 2016, 32(5):332-337.
- [20] 李峥,杨佳雯,陈冶秋,等.硅藻检验推测溺亡位置1例[J]. *法医学杂志*, 2020, 36(6):878-880. doi:10.12116/j.issn.1004-5619.2020.06.024. (下转第97页)

- vestigation of diatom species composition and database of diatom scanning electron microscope in the Pearl River of Guangdong province[J]. Zhongguo Fayixue Zazhi, 2018, 33(2):154-161.
- [11] 蔡海光, 应捷, 倪卓晖, 等. 宁波市三江流域夏季硅藻分布[J]. 法医学杂志, 2016, 32(6):413-414, 419. doi: 10.3969/j.issn.1004-5619.2016.06.004.
- CAI H G, YING J, NI Z H, et al. Diatoms distribution in Ningbo three-river watershed during summer[J]. Fayixue Zazhi, 2016, 32(6):413-414, 419.
- [12] 倪自翔, 谢琼, 易旭夫. 成都市主城区水中尸体多发河流区段硅藻分布[J]. 法医学杂志, 2016, 32(5):332-337. doi: 10.3969/j.issn.1004-5619.2016.05.004.
- NI Z X, XIE Q, YI X F. Distribution of diatoms in main sections of urban district rivers with drowning-prone in Chengdu[J]. Fayixue Zazhi, 2016, 32(5):332-337.
- [13] 田露, 臧士博, 邱志军. 上海市浦东新区川杨河水域硅藻分布及其法医学应用[J]. 法医学杂志, 2014, 30(2):114-116. doi: 10.3969/j.issn.1004-5619.2014.02.009.
- TIAN L, ZANG S B, QIU Z J. Distribution of diatoms in Chuanyang River of Pudong New Area of Shanghai and its forensic application[J]. Fayixue Zazhi, 2014, 30(2):114-116.
- [14] 李峥, 杨佳雯, 陈治秋, 等. 硅藻检验推测溺亡位置1例[J]. 法医学杂志, 2020, 36(6):878-880. doi: 10.12116/j.issn.1004-5619.2020.06.024.
- LI Z, YANG J W, CHEN Y Q, et al. The location of drowning inferred by diatom testing: A case report[J]. Fayixue Zazhi, 2020, 36(6):878-880.
- [15] COELHO S, RAMOS P, RIBEIRO C, et al. Contribution to the determination of the place of death by drowning - A study of diatoms' biodiversity in Douro river estuary[J]. J Forensic Leg Med, 2016, 41:58-64. doi: 10.1016/j.jflm.2016.04.007.
- [16] 赵建, 罗银洲, 王玉仲, 等. 肺组织硅藻定量分析在实验动物溺死诊断中的应用[J]. 法医学杂志, 2019, 35(6):706-709. doi: 10.12116/j.issn.1004-5619.2019.06.011
- ZHAO J, LUO Y Z, WANG Y Z, et al. Application of quantitative analysis of diatoms in lung tissue for the diagnosis of drowning of experimental animals[J]. Fayixue Zazhi, 2019, 35(6):706-709.
- [17] 张懿铨. 植物区系地理研究中的重要参数——相似性系数[J]. 地理研究, 1998, 17(4):429-434. doi: 10.3321/j.issn.1000-0585.1998.04.014.
- ZHANG Y L. Coefficient of similarity -- An important parameter in floristic geography[J]. Dili Yanjiu, 1998, 17(4):429-434.
- [18] 周圆圆, 曹永杰, 杨越, 等. 基于人工智能硅藻自动化识别系统的实际案例应用[J]. 法医学杂志, 2020, 36(2):239-242. doi: 10.12116/j.issn.1004-5619.2020.02.017.
- ZHOU Y Y, CAO Y J, YANG Y, et al. Application of artificial intelligence automatic diatom identification system in practical cases[J]. Fayixue Zazhi, 2020, 36(2):239-242.

(收稿日期:2021-06-08)

(本文编辑:张建华)

(上接第91页)

- LI Z, YANG J W, CHEN Y Q, et al. The location of drowning inferred by diatom testing: A case report[J]. Fayixue Zazhi, 2020, 36(6):878-880.
- [21] 蔡海光, 应捷, 倪卓晖, 等. 宁波市三江流域夏季硅藻分布[J]. 法医学杂志, 2016, 32(6):413-414, 419. doi: 10.3969/j.issn.1004-5619.2016.06.004.
- CAI H G, YING J, NI Z H, et al. Diatoms distribution in Ningbo three-river watershed during summer[J]. Fayixue Zazhi, 2016, 32(6):413-414, 419.

(收稿日期:2021-09-17)

(本文编辑:邹冬华)