

长江中游网湖沉积物营养元素变化特征 及其影响因素

史小丽^{1,2,3}, 秦伯强¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008; 2. 宁波大学学报编辑部, 浙江 宁波 315211;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:在放射性核素¹³⁷Cs 和²¹⁰Pb 精确计年的基础上,建立了长江中游网湖近代沉积物年代序列。通过对沉积物中 TOC、TN、TP、孢粉、重金属元素、粒度等指标的测定,结合相关文献资料,分析了百年来网湖沉积物中营养元素的分布特征,物源变化以及主控因子。结果表明:百年来网湖沉积物中 TN 和 TOC 含量显著相关,呈不断上升趋势,存在 2 个明显的演化阶段,主控因子为流域人类活动强度,气候波动对其有影响,但影响不大。TP 的变化与 TN 和 TOC 明显不同,波动较大,规律不明显,主要受人类活动强度以及径流侵蚀输入入湖物质变化两大因子控制。

关键词:网湖; 营养元素; 演化; 影响因子

中图分类号: X143

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2010)05-0766-06

长江中下游是中国淡水浅水湖泊分布最集中的地区,该地区湖泊的发育与长江演变、洪水泛滥有着密切的联系。20 世纪 80 年代以来,随着长江流域经济的快速发展,这一地区湖泊普遍受到水质恶化、富营养化程度加重的威胁^[1~3]。湖泊的营养状态演化既与流域范围内剧烈的人类活动相关,也有可能受制于流域特定的自然沉积环境。研究沉积物中营养元素的含量和变化特征,可以帮助我们了解湖泊营养元素沉积的历史,区分自然与人类活动对湖泊生态环境的影响,这对认识、控制和整治长江中下游地区湖泊富营养化具有重要的意义^[4,5]。目前,对长江中下游湖泊沉积物中营养元素的研究大多集中在沉积物的表层,利用沉积柱芯,在精确测年的基础上对沉积物中营养元素的垂直变化特征、来源进行分析研究的报道并不多见。羊向东等^[6,7]对近百年来龙感湖沉积物作过精细的营养元素研究;薛滨等^[8]对洪湖、太湖和巢湖沉积柱芯中营养元素蓄积变化进行了分析比较。本文在²¹⁰Pb、¹³⁷Cs 精确计年的基础上,研究长江中游原通江湖泊—网湖百年来沉积柱中营养元素的变化特征,结合孢粉、粒径和元素等指标以及相关的文献资料,探讨近代网湖沉积物中营养元素的来源

及其影响因素,并与长江中下游其他湖泊相比较,旨在揭示该地区湖泊沉积物中营养元素的演化特征、长江对湖泊沉积物中营养元素的影响,为治理长江中下游地区湖泊富营养化提供参考。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

网湖是湖北省百湖之县——阳新县的最大湖泊,位于富水河下游,濒临长江。湖泊原有面积 80.9 km²,经围垦后现有面积 42.3 km²,最大水深 5.4 m,平均水深 3.7 m,蓄水量 1.57 × 10⁸ m³。湖水主要依赖地表径流和湖面降水补给,补给系数 125.5^[9]。网湖流域属亚热带季风气候,年平均气温 15.9℃,降水量 1 385 mm。主要植被有青冈栎、栲、楠、松、杉、毛竹及灌丛、草丛等。阳新县以农业为主,境内矿产资源丰富,分布有金、银、铜、铁、锰等金属矿和煤、硫磺、石灰石、磷灰石等非金属矿。历史上网湖受长江影响较大,每到汛期,长江水位抬升,江水倒灌,江水携带的泥沙在湖中沉积^[10]。1967 年富池大闸的建成,阻断了网湖与长江的天然联系,使得进出网湖的湖水受人工闸口控制^{①②}。

收稿日期: 2010-01-25; 修订日期: 2010-04-02

基金项目: 国家杰出青年科学基金(40825004)项目资助。

作者简介: 史小丽(1965-),女,浙江宁波人,博士研究生,主要研究方向为水资源与水环境。E-mail: shixiaoli@nbu.edu.cn

通讯作者: 秦伯强,男,研究员,主要研究方向为水资源与水环境。E-mail: qinbq@niglas.ac.cn

① 湖北省阳新县县志编纂委员会编. 阳新县县志. 1993.

② 湖北省阳新县水利局,湖北省阳新县水利志编纂委员会编. 阳新县水利志. 1989.

1.2 样品采集

2007 年 11 月在网湖湖心(115°20′13″E、29°51′49″N), 水深 2.3 m 处用重力采样器采得平行沉积柱 2 根, 其中 1 根长 42 cm(WHA) 用于沉积物中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 测定; 另 1 根长 72 cm(WHD), 用于营养元素、粒度、元素、孢粉等参数的分析。野外现场按 1 cm 间隔分样, 样品装入聚乙烯样品袋中, 运回实验室进行各指标测定。

1.3 研究方法

沉积物用 40℃ 烘干, 研磨至 100 目用于各指标分析。 ^{137}Cs 和 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 比活度采用美国 EG&G Ortec 公司生产的高纯锗井型探测器与 Ortec919 型谱控制器构成的高纯锗低本底 γ 谱仪测定。总氮用重铬酸钾-硫酸消化-凯氏定氮法测定; 总有机碳用重铬酸钾-硫酸(油浴)氧化-硫酸亚铁滴定。总磷和元素分析采用美国产 Jarrel-Ash 1100 多道电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ICP-AES)测定。粒度用 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 型激光粒度仪分析。以上测试工作均在中国科学院南京地理与湖泊研究所完成。孢粉样品鉴定工作在武汉大学完成。

2 研究结果

2.1 年代序列的确定

网湖沉积物年代的详细讨论见文献^[1]。根据 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 分布特征, 得到其拟合曲线为 $y = 635.65e^{-0.05558x}$, $R^2 = 0.83$, 算得平均沉积的速率为 0.56 cm/a, 与用 ^{137}Cs 以 1952 年和 1963 年为时标得到的沉积速率相一致。以平均沉积速率 0.56 cm/a 推算, 沉积物 72 cm 处的沉积时间大致为 1878 年, 这和文献^[2]所述网湖沉积年代相近, 说明测年结果可信度较好。

2.2 营养元素含量及其参数的垂直变化

网湖沉积物中营养元素及其参数的垂直分布见图 1, TOC 含量在 6.64 ~ 16.50 mg/g 间, 平均为 9.74 mg/g; TN 含量为 0.65 ~ 1.65 mg/g, 平均为 0.96 mg/g; TP 含量为 0.585 ~ 0.791 mg/g, 平均为 0.690 mg/g。TOC 与 TN 的垂直变化相似, 相关分析表明, 两者呈极显著的正相关关系($n = 72$, $r = 0.996$, $P < 0.01$); 在 32 cm 以下(1950 年前) TOC 和 TN 含量较低, 且比较稳定, 分别维持在 7.63 mg/g 和 0.74 mg/g 左右; 32 cm 至表层(1950 年后) TOC 和 TN 含量明显增加, 表层达到最大值。

TP 的变化趋势与 TOC 和 TN 明显不同, 在整个沉积柱中波动较大, 且较频繁。32 cm 以下(1950 年前) 含量相对低, 变动幅度较大; 20 ~ 32 cm(约 1950 ~ 1970 年) 出现一段较高值; 20 cm 至表层(1970 年以后) 含量呈下降趋势。沉积物中 C/N 值变化较小, 在 9.9 ~ 10.5 范围内做窄幅波动, 20 世纪上半叶 C/N 值相对较高, 以后逐步呈下降趋势。

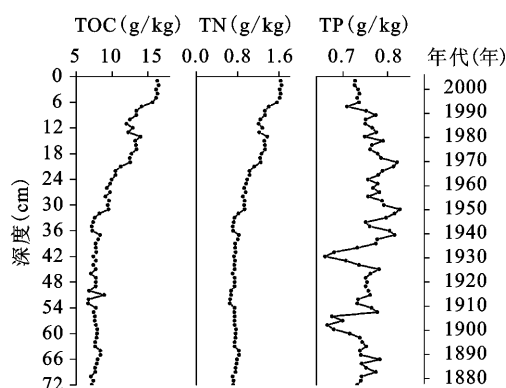


图 1 网湖沉积物中营养盐含量的垂直分布

Fig. 1 Distribution of TOC, TN, TP and C/N of sediments in the Wanghu Lake

2.3 孢粉组合特征, 粒度及重金属元素分布

湖泊沉积物中孢粉指标通常用来恢复流域古植被和古气候环境。但目前已有学者成功地将孢粉应用于人类活动的研究, 孢粉的组合特征可以指示人类的干扰方式, 如流域森林砍伐、放牧、农业耕种等^[13-15]。网湖沉积柱各层均含孢粉, 共鉴定出 170 余种(包括科、属、种)。其中乔木植物花粉 39 种, 含量最多, 占孢粉总数的 46% ~ 86%, 平均为 62.7%, 主要有松属(*Pinus*)、栎属(*Quercus*); 灌木植物花粉 45 种, 含量最少, 占孢粉总数的 1% ~ 6%, 平均 2.3%, 主要有榛(*Corylus*)、桑科(*Moraceae*); 草本植物花粉 72 种, 占孢粉总数的 8% ~ 41%, 平均 22.5%, 主要有禾本科(*Gramineae*)、蒿(*Artemisia*)和沙草科(*Cyperaceae*); 蕨类植物孢子 18 种, 占孢粉总数的 4% ~ 23%, 平均 12.4%, 主要有铁线蕨(*Adiantum*)和鲜盖蕨(*Microlepia*)。另外, 有藻类 3 种, 其中盘星藻含量较高, 尤其在 30 cm 至表层, 最多层位占孢粉总数的 66%, 平均占 16%。沉积物中孢粉的垂直分布见图 2。

对网湖沉积物粒径和重金属元素分析表明^[14], 沉积物粒径分布在 0.24 ~ 125 μm 之间, 中值粒径变化在 2.61 ~ 4.72 μm 之间, 自下而上中值

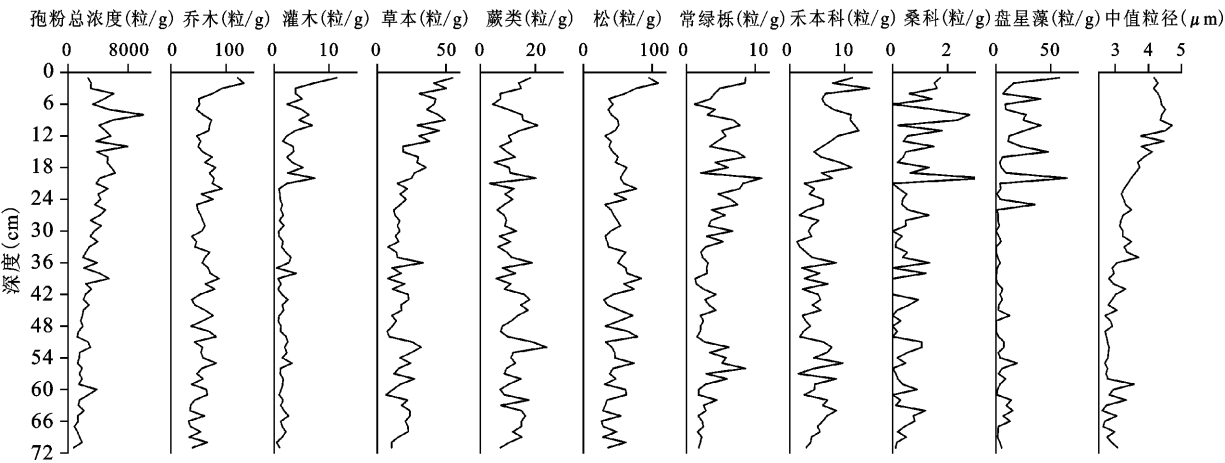


图2 网湖沉积物中孢粉和粒径随深度变化曲线

Fig. 2 Pollen assemblage characteristics and grain-size of core sediments in Wanghu Lake

粒径逐渐增大,沉积物上部为粘土质粉砂,下部为粉砂质粘土。10 种重金属元素(Co、Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb、Ti、V 和 Zn) 除 Pb 外大致可分为 2 组,其中 Cr、V、Ni 具有较好的相关性,相关系数大于 0.7,主要反映了网湖流域的背景情况; Cu、Ti、Mn、Zn、Co、Fe 变化趋势相似,其含量变化可能与流域内矿产的开采和冶炼状况有关。

3 结论与讨论

3.1 营养元素的变化特征与演化

营养元素的垂直变化特征在一定程度上反映了湖泊自然环境的变化以及不同时期人类活动强度和方式对湖泊产生的影响^[17~19]。网湖沉积中 TOC 和 TN 显著相关,表明两者可能有相同的来源^[19];而 TP 的变化趋势与 TOC 和 TN 明显不同,相关系数分别为 0.076 和 0.079,认为磷的来源与 TOC 和 TN 有异。湖泊沉积物中 C/N 比常用来反映有机质的来源,一般来说,藻类等内源有机质的 C/N 比在 4~10 之间,而陆生维管束植物的 C/N 比会大于 20^[6,7,13]。网湖沉积物的 C/N 比变化较小,基本维持在 9.9~10.5 之间,变化趋势与 TOC 和 TN 相反,自下而上整体呈下降势态。受有机质分解作用影响,分解过程中有机质生成 CO₂ 和 NH₄⁺,其中 CO₂ 从沉积物中释出,而 NH₄⁺ 被粘土矿物吸附留在沉积物中,因此下部 C/N 的实际值应高于测量值^[1],由此表明网湖沉积物中有机质可能以陆源有机质为主,以后 C/N 比变小可能是

内源有机质增加所致。

网湖沉积物营养元素演化呈两个明显的阶段:(1) 20 世纪 50 年代前,沉积物中 TOC 和 TN 含量低,且比较稳定;TP 含量低,但波动较大,没有明显的变化趋势。粒度和孢粉分析表明,这一时期沉积物粒径较小,多为经历化学风化作用较强的物质(中值粒径为 2.61~4.32 μm,平均 3.32 μm)。花粉组合中松属花粉含量较高,与人类耕作关系密切的禾本科和桑科含量相对较低,反映了当时流域森林覆盖率相对较高,人类活动对湖泊环境影响较弱,沉积物中营养元素主要来自湖泊流域的自然补给。(2) 20 世纪 50 年代以后,TOC 和 TN 含量持续增大,TP 在保持一段高值后逐步变小。这一时期花粉组合中禾本科、桑科和其它草本花粉含量升高;重金属元素中与湖区矿产相关的 Cu、Mn 元素含量增加^[14];沉积物粒径明显增大。一般来说,TOC 更易赋存于细颗粒中,沉积物颗粒变粗,TOC 上升,说明这一时期 TOC 的增加不是粘土所致,可能是湖泊水体生产力增加或流域带来的有机物质增多,表明这一时期流域人类活动强度增强,这与相关文献记录相一致。据阳新县志^①和湖北省统计年鉴^②,自 1949 年解放以来,阳新县工农业生产和人口不断增长,1957 年粮食总产量 12 021 × 10⁴ kg,农业总产值 7 048 万元,工业总产值 649 万元,到 2005 年粮食总产量达 32 230 × 10⁴ kg,农业总产值 21.67 亿元,工业总产值 40.48 亿元;人口从 1949 年的 34 万人,增加到 2005 年的 97 万人。TP

① 湖北省阳新县县志编纂委员会. 阳新县志,1993.
② 湖北年鉴委员会. 湖北年鉴. 1988~2005.

含量变化较为复杂,1950 年前相对较低,但波动较大。1920 ~ 1950 年出现一段相对低值,同期重金属含量也出现低谷^[17],究其原因可能与当时阳新县因水灾频发,血吸虫病猖獗以及战乱,造成工农业生产全面衰退,人口急剧减少有关;1950 ~ 1970 年 TP 含量增加,并呈现一段高值,可能与当时大规模的水利建设,围湖造田,导致大量陆源碎屑物入湖相关。据有关文献报道^[20,21],长江水体 TP 含量较高(0.11 ~ 0.15 mg/L),且以颗粒态磷为主(占 TP 含量的 70% ~ 90%)。1967 年富池大坝建成前网湖为通江湖泊,汛期江水携带的大量颗粒物在水动力条件较弱的湖中沉积。以后富池大坝的建成阻断了网湖与长江的天然联系,使得江水携带而至的颗粒态磷减少,导致 1970 年以后 TP 含量下

降。20 世纪 90 年代以后,随着网湖和长江流域退耕还林,水土流失得以改善,加至洗涤磷等的控制,沉积物中 TP 含量进一步呈下降趋势。

3.2 营养元素影响因子分析

影响湖泊沉积物的因素众多,沉积物各类指标关系错综复杂,为了分析沉积物营养元素的影响因子,利用因子分析法对沉积物中典型的理化和生物指标进行归纳,提取出较少几个独立因子(主成分)。同时,为更好地解释公共因子的环境意义对因子进行了旋转,旋转后因子载荷系数取值明显。网湖沉积物各指标 KMO 检验结果为 0.77,说明该组指标适合进行因子分析。

主成分分析结果(表 1)表明,特征值大于 1 的主成分有 5 个,其累计方差率为 77.5%,基本包含

表 1 主成分计算结果
Table 1 Result of Principal Component Analysis

主成分	特征根	方差(%)	TN	TOC	Cu	中值粒径	Ti	Mn	孢粉浓度	蕨类	Fe	P	Co
<i>F</i> ₁	7.122	29.677	0.935	0.932	0.893	0.859	0.756	0.718	0.687	-0.664	-0.143	0.407	0.176
<i>F</i> ₂	3.208	13.368	-0.083	-0.076	0.111	-0.042	0.465	0.164	0.102	-0.09	0.774	0.732	0.64
<i>F</i> ₃	3.181	13.252	0.182	0.195	0.05	0.264	0.044	-0.007	0.069	0.306	-0.28	-0.224	0.133
<i>F</i> ₄	2.885	12.021	-0.041	-0.035	-0.058	-0.14	-0.324	-0.022	-0.339	0.091	-0.031	-0.298	0.149
<i>F</i> ₅	2.2	9.165	0.174	0.174	0.171	0.147	0.182	0.05	0.113	0.405	-0.026	0.05	0.031
主成分	Zn	Ni	乔木	松	草本	禾本科	Pb	Al	Cr	V	盘星藻	常绿栎	灌木
<i>F</i> ₁	0.507	-0.389	0.013	-0.098	0.447	0.131	0.075	-0.2	-0.472	-0.599	0.274	0.048	0.534
<i>F</i> ₂	0.625	0.553	0.004	-0.086	-0.224	-0.251	-0.162	0.074	0.489	0.342	0.022	0.38	-0.161
<i>F</i> ₃	-0.008	0.194	-0.956	-0.951	0.735	0.578	0.092	-0.003	-0.025	-0.052	0.127	-0.043	0.174
<i>F</i> ₄	0.437	0.456	-0.024	0.054	0.082	0.172	0.801	0.727	0.658	0.642	0.091	-0.236	0.025
<i>F</i> ₅	0.156	0.064	0.086	-0.092	0.241	0.448	-0.112	0.149	-0.083	-0.106	0.834	0.686	0.593

了 24 个指标的信息。5 个主成分中方差贡献率没有一个占绝对优势,说明沉积物受控因子复杂。主成分 1 与 TN、TOC、中值粒径、Cu、Ti、孢粉浓度、Mn 等相关。Cu 和 Mn 是网湖流域主要金属矿产,开发历史长,近几十年来开采量和冶炼规模不断扩大;而网湖沉积物粒径增大主要是人类活动对湖泊流域干扰增强^[14],因此主成分 1 反映人类扰动对湖泊的影响。主成分 2 的因子载荷主要是铁族元素(Fe、Ti、Co、Ni、Cr)以及 P 和 Zn,铁族元素含量通常与 Fe 元素富集的陆源碎屑矿物有关,长江阳新段上游流域有著名的湖北大冶铁矿,径流侵蚀和长江物质输移有可能使得 Fe 元素富集的陆源碎屑矿物进入湖泊,因此主成分 2 反映了径流的侵蚀和输移能力。主成分 3 与乔木、松和草本、禾本科含量有关,乔木和松花粉的减少,暗示着森林面积的减少,而草本和禾本科花粉的增加说明种植规模的

扩大^[13],因此主成分 3 反映了土地利用的变化。主成分 4 主要与 Al、Cr、V 等元素有关,地球表生带中 Al 和 V 溶解度较小,通常不能作远距离搬运,风化过程中会很快从溶液中沉积下来,不易受到人类活动的污染,已被广泛用于区分沉积物中自然及人为物质来源^[22,23],因此主成分 4 反映了流域自然背景状况。主成分 5 与盘星藻、常绿栎和灌木相关,盘星藻是淡水水域较为常见的绿藻之一,生活于浅水湖泊、池塘、洼地或小河流,是湖泊富营养化的指示器,盘星藻增加意味着湖泊水位降低至某一深度;温度也是盘星藻生长的一个重要因子,当温度在 4 ~ 36℃ 时,盘星藻能生长,盘星藻增长反映气温上升,相对湿度减少,湖泊水位下降^[24]。因此主成分 5 反映了流域气候的变化。综上分析推测网湖沉积物中 TN 和 TOC 主要受人类活动、流域土地利用以及气候因子的控制;而 TP 的影响因素主

要是人类活动以及径流的侵蚀和输移能力,气候等其他因子对其影响不大。

3.3 与长江中下游其它湖泊比较

从已有研究看,长江中下游湖泊沉积物中营养元素分布具有一些相似特征(表2):TOC和TN变化规律明显,向上呈增加趋势,表层出现含量快速增加现象,两者变化趋势基本一致,相关性好;TP变化比较复杂,波动较大,规律不明显,一些湖泊向上呈增加趋势(龙感湖等)^[7],也有不少湖泊向上含量明显变小(洪湖、太湖部分湖区、固城湖、网湖等)^[8,23]。究其原因,TOC和TN的增加与近几十年来长江中下游地区经济发展和人类活动增强相关,湖泊流域耕种面积的扩大,大量化肥的使用、污水排放入湖、湖区过量养殖等都会造成沉积物中TOC和TN的累积。沉积物中P的主要来源为:

(1) 流域的碎屑物质,其含量受物源、粒度等因素控制;(2) 人为污染排放和大气污染物沉降。长江中下游湖泊历史时期多为通江湖泊,江湖物质交换频繁。建国后,随着江湖治理的开展,绝大部分湖泊变成了封闭或半封闭湖泊。江湖关系的改变,影响了湖泊沉积物的物源;同时由于流域人类活动的增强,湖泊沉积物粒径变大,这些都有可能导致沉积物中TP含量的下降。

与长江中下游其它湖泊沉积物中营养元素相比(表2),网湖沉积物中TOC和TN的含量相对较低,TP的含量却较高。网湖是一个相对受污染较少的天然湖泊,其TOC和TN含量明显低于受人类活动影响较大的城市湖泊,如武汉东湖等,但TP平均含量却和东湖相近,是长江对其影响,亦或别的影响这还有待于进一步研究。

表2 长江中下游地区湖泊沉积物营养元素比较^[26~28]

Table 2 Nutrients of different lakes in the middle and low reaches of the Changjiang (Yangtze) River

湖泊	沉积物深度 (cm)	TOC(mg/g)		TN(mg/g)		TP(mg/g)	
		变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
网湖(湖心)	0~72	6.64~16.50	9.74	0.65~1.65	0.96	0.59~0.79	0.69
东湖(湖心)	0~150	8.1~53.5	24.5	1.6~6.3	3.4	0.49~1.3	0.69
梁子湖(湖心)	0~14	—	—	3.26~5.24	4.32	0.3~0.7	0.4
太湖(东南部)	0~50	3.8~11.2	8.3	0.55~1.37	0.76	0.36~0.75	0.53

参考文献:

[1] 秦伯强,朱广伟. 长江中下游地区湖泊水和沉积物中营养盐的赋存、循环及其交换特征 [J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2005, 35(增刊 II): 1~10.

[2] 何华春,丁海燕,张振克,等. 淮河中下游洪泽湖湖泊沉积物粒度特征及其沉积环境意义 [J]. 地理科学, 2005, 25(5): 590~596.

[3] 谢远云,李长安,王秋良,等. 江汉平原近 3 000 年来古洪水事件的沉积记录 [J]. 地理科学, 2007, 27(1): 81~84.

[4] 桂峰,于革. 洪湖流域传统农业条件下营养盐输移模拟研究 [J]. 第四纪研究, 2006, 26(5): 849~856.

[5] Liu Enfeng, Yang Xiangdong, Shen Ji, et al. Environmental response to climate and human impact during the last 400 years in Taibai Lake catchment, middle reach of Yangtze River, China [J]. Science of the Total Environment, 2007(385): 196~207.

[6] 羊向东,沈吉,董旭辉,等. 长江中下游浅水湖泊历史时期营养态演化及湖泊生态相应 [J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2005, 35(增刊 II): 45~54.

[7] 吴艳宏,王苏民. 龙感湖沉积物中人类活动导致的营养盐累积通量估算 [J]. 第四纪研究, 2006(5): 843~848.

[8] 薛滨,姚书春,王苏民,等. 长江中下游不同类型湖泊沉积物营养盐蓄积变化过程及其原因分析 [J]. 第四纪研究, 2007, 27(1): 122~127.

[9] 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 200~201.

[10] Chaolu Yi, Huifang Liu, Neil L Rose, et al. Sediment sources and the flood record from Wanghu lake, in the middle reaches of the Yangtze River [J]. Journal of Hydrology, 2006, (329): 568~576.

[11] 史小丽,秦伯强. 湖北网湖¹³⁷Cs、²¹⁰Pb 计年与沉积速率研究 [J]. 宁波大学学报(理工版), 2008, 21(3): 418~422.

[12] 易朝路,吴显新,刘会平,等. 长江中游湖泊沉积微结构特征与沉积环境 [J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 293~302.

[13] 范成新,王春霞. 长江中下游湖泊环境地球化学与富营养化 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.

[14] 张玉兰,贾丽. 上海东部地区晚第四纪沉积的孢粉组合及古环境 [J]. 地理科学, 2006, 26(2): 186~191.

[15] S A G Leroy. Pollen analysis of core DS7-1SC (Dead Sea) showing intertwined effects of climatic change and human activities in the Late Holocene [J]. Journal of Archaeological Science, 2010, (37): 45~56.

[16] 史小丽,秦伯强. 长江中游网湖沉积物重金属元素变化特征分析 [J]. 第四纪研究, 2009, 29(1): 135~143.

[17] 贾铁飞,张卫国,俞立中,等. 近 800 年来巢湖沉积物营养元素富集特点及其环境演变意义 [J]. 地理科学, 2009, 29(6): 893~895.

- [18] 刘恩峰, 沈吉, 朱育新. 西太湖沉积物污染的地球化学记录及对比研究 [J]. 地理科学, 2005, 25(1): 102 ~ 107.
- [19] K E Juracek, A C Ziegler. Estimation of sediment sources using selected chemical tracers in the Perry lake basin, Kansas, USA [J]. International Journal of Sediment Research, 2009, (24): 108 ~ 125.
- [20] 段水旺, 章申, 陈喜保, 等. 长江下游氮、磷含量变化及其输送量的估计 [J]. 环境科学, 2000, 21(1): 53 ~ 56.
- [21] 徐开钦, 林诚二, 牧秀明, 等. 长江干流主要营养盐含量的变化特征——1998 ~ 1999 年日中合作调查结果分析 [J]. 地理学报, 2004, 59(1): 118 ~ 124.
- [22] 董旭辉, 羊向东, 刘恩峰, 等. 冗余分析 (RDA) 在简化湖泊沉积指标体系中的应用 [J]. 地理研究, 2007, 26(3): 477 ~ 484.
- [23] Robert E Hecky, Harvey A Bootsma, Murray L. Kingdon. Impact of Land Use on Sediment and Nutrient Yields to Lake Malawi/Nyasa (Africa) [J]. Journal of great lakes research, 2003, 29 (sup2): 139 ~ 158.
- [24] 肖露云, 蒋庆丰, 刘兴起, 等. 新疆乌伦古湖全新世以来高分辨率的孢粉记录与环境变迁 [J]. 微体古生物学报, 2006, 23(1): 77 ~ 86.
- [25] 姚树春, 薛滨, 王小林. 人类活动影响下的固城湖环境变迁 [J]. 湖泊科学, 2008, 20(1): 88 ~ 92.
- [26] 姚树春, 李世杰, 薛滨, 等. 南太湖沉积岩中金属和营养元素的垂向分布特征及其意义 [J]. 生态环境, 2005, 14(2): 178 ~ 181.
- [27] 杨洪, 易朝路, 谢平, 等. 武汉东湖沉积物碳氮磷垂向分布研究 [J]. 地球化学, 2004, 33(5): 507 ~ 514.
- [28] 熊汉锋, 谭启华, 王运华. 梁子湖沉积物中氮磷分布特征研究 [J]. 华中农业大学学报, 2008, 27(2): 235 ~ 238.

Nutrients Distribution Character and Their Influential Factors in Core Sediments from Wanghu Lake in Middle Reaches of Changjiang River

SHI Xiao-li^{1,2,3}, QIN Bo-qiang¹

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008;
Editorial Department of Journal Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211; 3. Graduate University
of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: Sediment cores were collected in November 2007 from Wanghu Lake, a river connecting lake before 1960s, in the middle reaches of the Changjiang (Yangtze) River. Dating sequence of the core was established based on radioisotopes ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb. The samples of the core sediments were analyzed for total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), heavy metal, grain-size and pollens. The results show that two stages were recognized according to vertical variation of TOC and TN concentrations. Before 1950, both TOC and TN concentrations were low and stable, reflecting that the TOC and TN of sediment were mainly from the natural of soil nutrient cycling in surrounding. After 1950, the concentrations of TOC and TN were increasing, the maximum appeared in the surface of sediment. The vertical changes of TP was different from TN and TOC, and it was more complex relatively. Before 1920, TP concentrations were low and stable, and in the period 1920 ~ 1950, TP concentrations were lower which were probably resulted from the decline of economy and population of the Yangxin County caused by war, Schistosomiasis and frequent floods. From 1950 to 1970, with the hydraulic engineering constructions, the development of industry and agriculture, the concentrations of TP in sediment were notable increased. Since Fuchi floodgate had been finished in 1967, the lake water exchange from the Changjiang (Yangtze) River was blocked, fine soil and particle phosphorus decreased into Wanghu Lake from Changjiang River, and the concentrations of TP in the sediment was declined. The results from Principal Component Analysis show that the concentrations of TOC and TN in sediment were mainly controlled by human activities and the changes of catchment land use, and climate had little impacted on them; the concentrations of TP were drove by two factors of human activities, erosion and transportation of runoff in catchment and the Changjiang River.

Key words: Wanghu Lake; nutrient element; evolution; influential factors