

doi:10.3799/dqkx.2017.058

仙桃地区关键带生态演化与碳埋藏

郭森¹, 顾延生^{2,3*}, 丁俊傑⁴, 田文⁴, 伦子健⁴

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 中国地质大学湿地演化与生态恢复湖北省重点实验室, 湖北武汉 430074

4. 中国地质大学环境学院, 湖北武汉 430074

摘要:仙桃地区湖群不断萎缩,水体富营养化水平和湿地沉积物重金属含量持续升高,江汉湖群生态系统日益脆弱,加强对该地区生态环境演化研究、分析人类活动和富营养化对湖泊生态系统的影响、探究该地区不同沉积环境的碳埋藏规律等显得尤为重要。在对江汉平原重点地区(仙桃彭场镇幅和脉旺咀幅)第四纪地质调查的基础上,选取研究区大型渔场、小型鱼塘、沟滩、湖泊、水稻田、泄洪道、旱地、汉水阶地8种不同沉积环境的16个关键带点位,分别测定了其表层及浅层钻孔沉积物的色素、TOC(total organic carbon, 总有机碳)与TN(total nitrogen, 总氮)。表层沉积物TOC含量反映了研究区南部多湖泊区域有机碳埋藏量较高,而北部冲、洪积成因环境相对较低,与色素、TN所指示的人类活动强度和富营养化水平相吻合。湿地浅层钻孔沉积物碳埋藏速率变化整体表现为升高趋势,与色素所指示的湖泊富营养化的趋势相吻合;不同沉积环境碳埋藏速率差异较大,最高为大型渔场 $77.71 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、最低为汉水阶地 $3.61 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。研究结果表明,受到人类活动影响,湖相沉积物中碳埋藏量相对较高,湖泊碳汇功能不断增强,这对江汉平原关键带碳循环研究具有重要意义。

关键词:仙桃地区; 生态演化; 关键带; 富营养化; 碳埋藏; 沉积物; 生态系统。

中图分类号: P66

文章编号: 1000-2383(2017)05-0707-09

收稿日期: 2017-01-03

Evolution of Eco-Environment and Carbon Burial of Critical Zones in Xiantao Area, Hubei Province

Guo Sen¹, Gu Yansheng^{2,3*}, Ding Junjie⁴, Tian Wen⁴, Lun Zijian⁴

1. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Hubei Key Laboratory of Wetland Evolution and Eco-Restoration, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

4. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Lakes in Xiantao area are continuously shrinking, while the eutrophication level and the heavy metal contents of wetland sediments rising, relatively, the ecosystem of the lakes in Jianghan plain weakening increasingly. Enhancing the studies on the eco-environment evolution, analyzing the effects of human activities and eutrophication on lake ecosystem, and discussing the rules of carbon burials in different sedimentary environments are particularly important. Based on the Quaternary geological survey of the key regions in Jianghan plain, we collected and determined sediment samples from 16 key sites in 8 different sedimentary environments (including large fisheries, small fish ponds, vadum, lakes, paddy fields, spillway, dry fields and terrace of Hanjiang River). The total organic carbon(TOC) contents of the surface soils show that the level of organic carbon in the southern area (lake sedimentary environment) is higher than that in the northern region (fluvial and pluvial environment causes), which is consistent with human activity intensity and eutrophication level indicated by pigment, total nitrogen(TN). Carbon burials of shallow core sediments are consistent with the eutrophication level indicated by pigment showing a rising tendency. The

基金项目:中国地质调查局项目(No.12120114069301)。

作者简介:郭森(1992—),女,硕士研究生,从事第四纪地质与环境演化学习研究。ORCID:0000-0003-2719-2877。E-mail: ayguosen123@163.com

* 通讯作者:顾延生,ORCID:0000-0001-6620-1946。E-mail: ysgu@cug.edu.cn

引用格式:郭森,顾延生,丁俊傑,等,2017.仙桃地区关键带生态演化与碳埋藏.地球科学,42(5):707—715.

rates of carbon burials are various in different sedimentary environments. The highest is in large fisheries ($77.71 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) while the lowest is in the terrace of Hanjiang River ($3.61 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$). Our study indicates that the carbon aggregation function of lakes is constantly enhancing, and it has important significance to study the carbon cycle of the critical zones in Jianghan plain.

Key words: Xiantao area; evolution of eco-environment; critical zone; eutrophication; carbon burial; sediment; ecosystem.

由大气圈、水圈、地表岩石圈(包括土壤圈)和生物圈(包括人类)组成的有机整体系统被称为地球关键带(earth's critical zone),最早由美国国家研究委员会(National Research Council,简称 NRC)提出,旨在研究各个圈层互相联系作用的机制、规律,预测全球环境变化(National Research Council, 2001),关键带控制着土壤的发育、化学循环及水的流动,调节资源的功能和影响.随着世界各国对生态系统管理的日益重视,近地表圈层研究近年来成为国际地学界日趋活跃的科学前沿领域,党的“十八大”报告更是将生态文明建设提高到了一个新的历史高度(杨建峰和张翠光,2014).作为关键带调查的重要组成部分,碳埋藏研究为查明关键带生物地球化学过程提供了证据.湖泊湿地沉积碳埋藏的研究可以反映湖泊在历史时期的植被覆盖程度、湖泊生产力水平和沉积物保存条件,也可以在一定程度上间接反映古气候环境以及人类活动的影响(Tranvik *et al.*, 2009; Dong *et al.*, 2012; 曾掌权等,2013).土壤沉积物的生物地球化学循环对气候变化、生态环境和生物多样性的控制作用(潘根兴等,2008; Lal, 2004),吸引了全球相关人员的关注和研究(郭志刚等,

1999; Kayranli *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2011).

仙桃地区位于江汉平原东部,历史时期以来人类活动相对较强,湖泊湿地受到强烈干扰,湖群不断萎缩(杨达源等,2000),前人对江汉平原沉积物、地下水等研究均取得了一定进展(邓娅敏等,2015; 张玉芬等,2016).伴随工农业生产、渔业活动、生活污水排放的增加,江汉湖群生态系统日益脆弱(王学雷,2001),水体富营养化水平和湿地沉积物重金属含量持续升高(顾延生等,2008a, 2008b, 2013; 张毅等,2010; Wu *et al.*, 2007),因此加强对该地区生态环境演化研究、分析人类活动和富营养化对湖泊生态系统的影响、探究该地区不同沉积环境的碳埋藏规律等显得尤为重要.

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究于2014年11月采集16个不同类型的表层沉积物,采样点分布于脉旺咀幅和彭场镇幅(中国地质调查局,2014, 江汉平原重点地区1:5万水文地质调查(脉旺咀幅(H49E011023),彭场镇幅

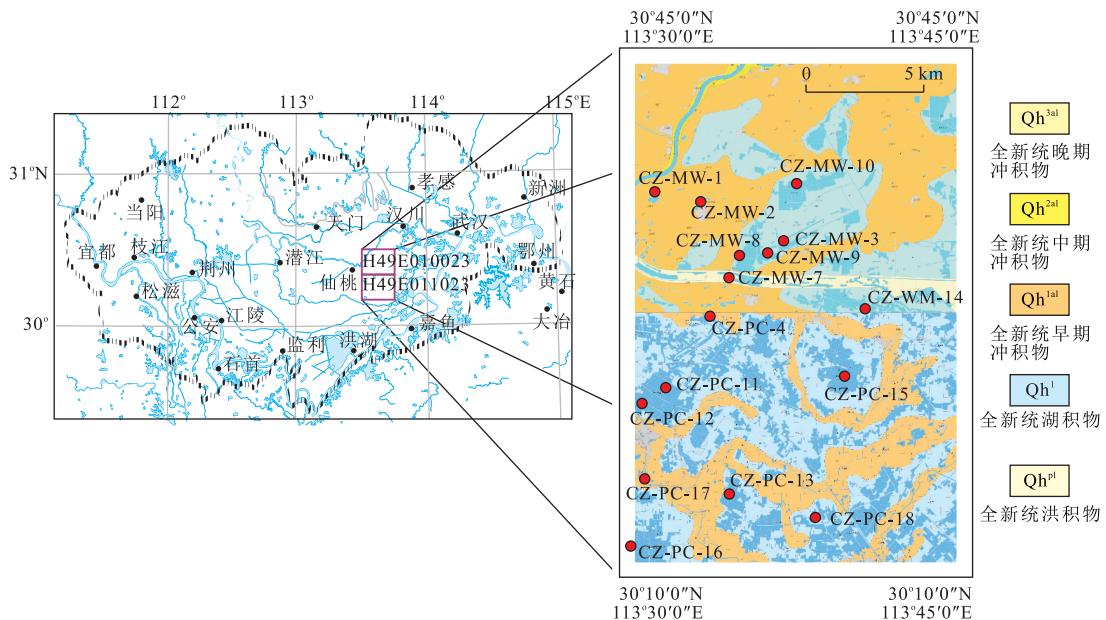


图 1 研究区及钻孔位置

Fig.1 The location of the study area and core sites

(H49E011023)))(图 1).

1.2 样品分析

色素含量测定: 将待测沉积物样品在室内避光风干后, 测定其单位含水量; 取 10 g 样品于 50 mL 小瓶中, 加入 90% 丙酮 30 mL, 放置 10 h 后用注射器将萃取液过滤到 100 mL 容量瓶中, 其中滤膜选用聚偏氟乙烯微孔有机相滤膜 (0.22 μm), 反复用 90% 的丙酮进行萃取, 定容至 100 mL。对萃取液使用不同的处理方法后, 使用 UV-2102 PC 型紫外可见分光光度计在不同波长范围进行扫描, 根据色素的特征峰值, 分别读取叶绿素 (CD)、自然叶绿素 (NC)、总胡萝卜素 (TC)、颤藻黄素 (Osc) 和蓝藻叶黄素 (Myx) 的吸光值, 最终根据相应的计算公式计算各色素的含量值 (Swain, 1985)。

总有机碳 (TOC) 分析: 将样品碾碎过 100 目筛, 根据样品所含有机碳含量的不同, 称取分析样品 0.2~1.0 g, 加入 10% 盐酸, 以除去样品中 CaCO₃ 等无机碳; 蒸馏水洗至中性后在 75 °C 以下烘干, 用德国 ELEMENTAR liqui TOC 分析仪检测。

总氮 (TN) 分析: 采用凯氏定氮法, 用电热板对样品进行消化后, 利用凯氏半自动定氮仪蒸馏, 再对吸收液进行滴定, 得到沉积物样品的含氮量。

1.3 年代序列分析

为建立准确的年代序列, 分别在两个图幅中选取 3 个地点采集测年样品, 各取样品 10 g 送往美国 BETA Analytic 放射性碳测年实验室, 通过酸预处理过后, 利用 AMS 加速质谱仪进行检测, 数据报告误差在 ±30 aBP 左右, 得到以下年龄值(表 1)。

表 1 研究区沉积物 AMS¹⁴C 定年数据

Table 1 AMS¹⁴C dating in survey region

序号	室内编号	深度(m)	¹⁴ C 年龄(a BP)	2 Sigma 校正(Cal a BP)
1	JH001-003	3	2 550±30	2 750~2 710
2	JH001-012	12	9 640±30	10 930~1 080
3	JH002-007	7	6 460±30	7 555~7 545
4	JH002-012	12	10 020±30	11 370~1 365
5	CZ-MW-1-70	7	1 800±30	1 820~1 690

通过以上控制点, 可以确定区域平均沉积速率。河漫滩地区沉积物的沉积物速率与其他地区不同 (顾延生等, 2008a, 2008b; 李长安等, 2009), CZ-MW-1 汉水阶地的沉积速率约为 3.89 mm·a⁻¹, 远大于其他点的沉积速率。而同为相对远离河流干扰的湖区钻孔 JH001 和 JH002 的沉积速率较为接近, 分别是 1.30 mm·a⁻¹ 和 1.40 mm·a⁻¹, 回归分析表明二者线性相关性很强 ($R^2 = 0.99$), 可将两者的沉积速率曲线拟合为一条, 估算江汉平原的平均沉积速率为 1.35 mm·a⁻¹。

1.4 计算方法

本文采用单位土壤有机碳储量方法, 对研究区 16 个样品进行碳埋藏的计算。首先使用单位土壤碳含量公式 (奚小环等, 2009) 进行计算:

$$USCA = TOC \times \Delta D \times S \times \rho, \quad (1)$$

式中: 取经验密度 2.65 g·cm⁻³, S 为 πr^2 (r 为 3.75 cm, 各点位取样岩心半径均相同), ΔD 为钻孔深度, 通过计算得出每个钻孔的碳埋藏总量。再根据图 2 中分析得到的沉积速率, 计算各个采样点碳埋藏速率。

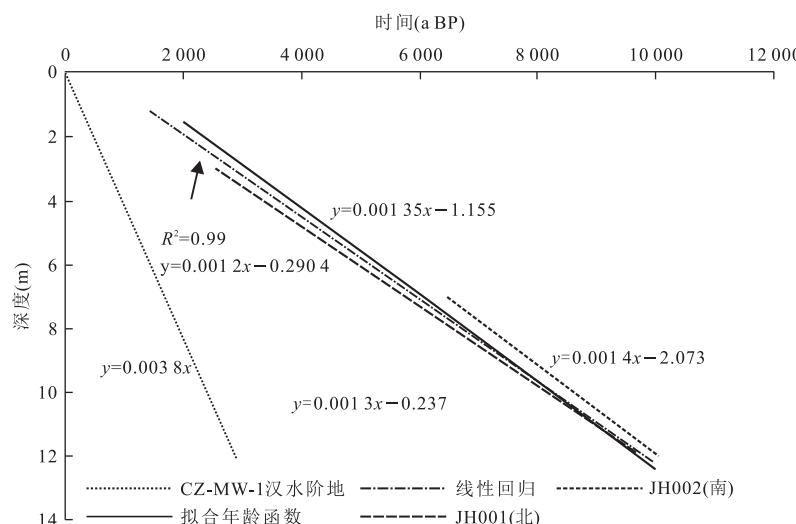


图 2 AMS¹⁴C 测年随深度的变化

Fig.2 AMS¹⁴C dating and depth of the boreholes

2 结果与讨论

2.1 表层沉积物记录湖泊生态

在研究湖泊的古生产力方面,沉积物中色素比 TOC 更加敏感,根据其含量和种类可分析湖泊的初级生产力、富营养状况、人类活动等(Leavitt, 1993; 瞿文川等,2000; 李金城等,2004; 申慧彦等,2007)。

将各点位色素、TN 与 TOC 指标使用反距离加权(IDW)的方法,通过 ArcGIS 绘制出含量(值)的

空间分布(图 3).本文采用叶绿素(CD)、总胡萝卜素(TC)、颤藻黄素(Osc)和蓝藻叶黄素(Myx)、CD/TC、Osc/Myx 六项指标研究江汉平原湖泊的生产力水平以及人类活动造成的富营养化规律,与 TN、TOC 所指示的富营养化以及碳埋藏进行对比。

研究区 CD 和 TC 的分布具有一定的协同性(图 3a,3b),二者高值均集中分布于南部浅水湖泊密集分布的区域。实地调查表明,CD 与 TC 含量较高的区域多为沟渠或滩地,主要分布在彭场镇幅西

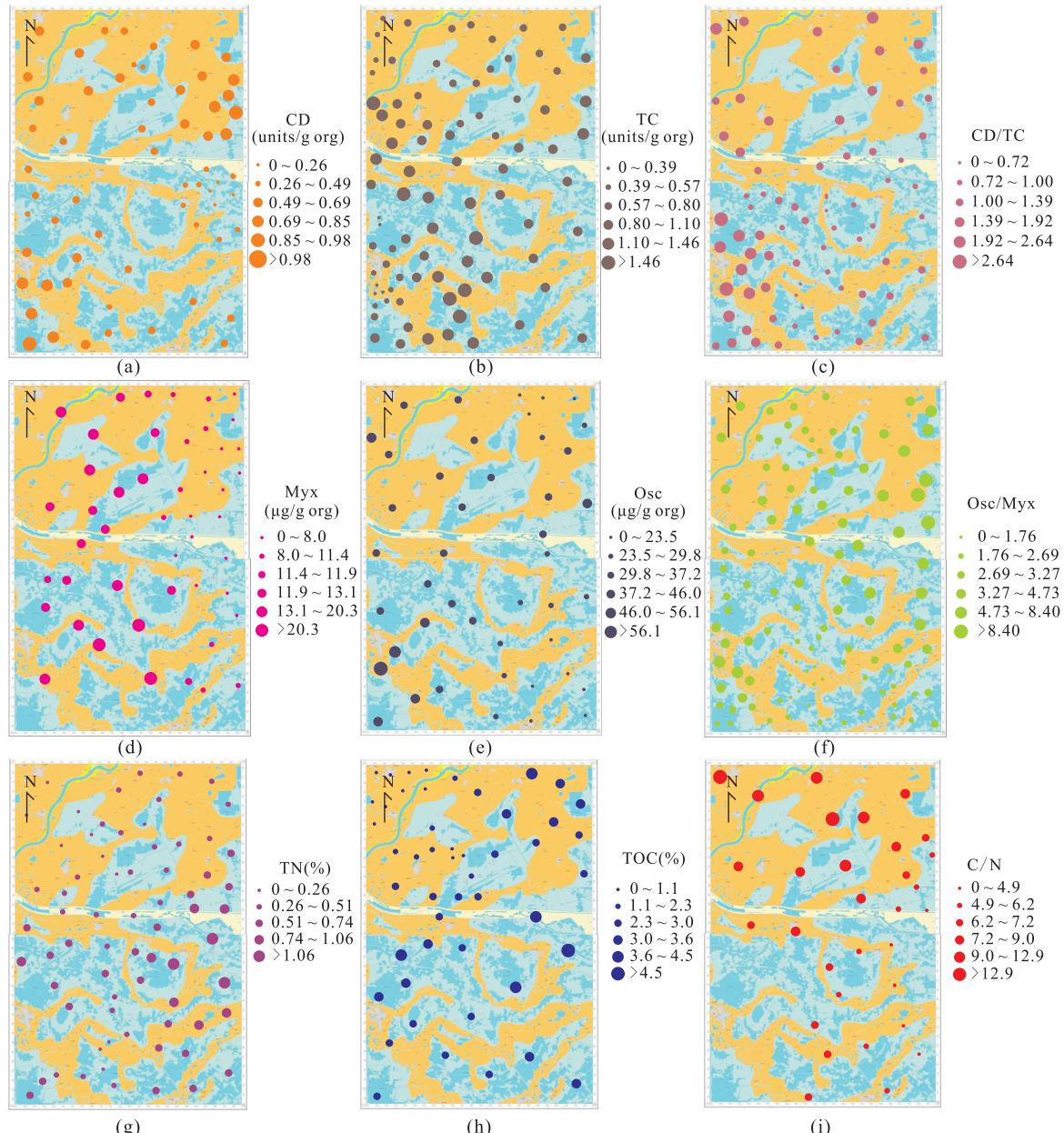


图 3 调查区关键带表层沉积物色素、TN 与 TOC 分布

Fig.3 Distribution of pigments, TN and TOC in the surface sediments of critical zones in Xiantao

CD.叶绿素,TC.总胡萝卜素,CD/TC.叶绿素/总胡萝卜素,Myx.蓝藻叶黄素,Osc.颤藻蓝素,Osc/ Myx.颤藻蓝素/蓝藻叶黄素,TN.总氮,TOC.总有机碳,C/N.碳氮比;图 3 各图的比例尺 1 : 50 000

南部人类活动集中的区域,其分布规律表明人类活动对于有机质的沉积有一定的促进作用,受人类活动影响较大的沟渠和鱼塘水体营养水平比自然湖泊以及河流相对较高,而 CD/TC 可作为衡量内生和外生有机质贡献大小的指标,其值高表明外源有机质贡献较大,研究区域西南部人类活动强度较大的湖区生产生活排污严重而表现出外源有机质主导的现象;而北部汉江沿线冲积相沉积区的高值则证明了汉江带来的外源有机质在此沉积(图 3c)。

颤藻黄素(Osc)被认为是湖泊富营养化状况的指标,可以揭示湖泊富营养状况的时序,Osc 的浓度升高与人为富营养化作用共存,在全区含量相对较高(图 3e),江汉平原人类活动对水体的影响巨大,而同样在研究区西南部出现了高值集中区域,表明人类活动在此最强,而实际上该区域为彭场镇附近,是该图幅中人口最为集中的区域之一,Osc/Myx 的值指示湖泊水体中颤藻科与蓝藻科含量的相对变化,其低值能够指示水体的富营养化。研究区富营养化程度最高的区域集中在彭场镇幅西南部的人口密集区域,与 Osc 所指示的人类活动强度具有一定的耦合性,但也存在一定的差异性,其差异性主要表现在陆相沉积区域(特别是彭场镇附近)的人类活动较强,但因水体较少而出现富营养化程度较弱的表现,与实际情况相符合。

TOC 和 TN 在水平空间呈现出相似的分布趋势(图 3g,3h),即东南高,西北低。其高值基本集中在东南部湖泊区,调查表明该集中区湖泊多数被改造成为鱼塘或渔场,水体富营养化与水产养殖相关。碳氮比(C/N)的取值范围在 3.84~16.13,较普通陆源土壤的碳氮比(10~18)(Mayer,1994)偏低,较余俊清等(2001)对湖泊沉积物的研究,范围稍大,分异性稍大,C/N 分布规律与 TOC、TN 呈负相关,即为西北高,东南低,高值集中在北部旱地,汉江周围的冲积相环境导致较多的外源性有机物输入,说明异源性强(Krishnamurthy *et al.*,1986);南部水域面积广,C/N 值在 5 左右,其有机质主要来自水生植物与各种藻类等自生生物(Meyers,1994),且这些水域的初级生产力都较高,水体中含有大量的浮游植物或藻类,说明其存在一定水体富营养化。

总的来说,调查区湖泊水体初级生产力较高,人类活动对该地区影响较大,产生了不同程度的富营养化,初级生产力高值、人类活动以及富营养化均集中于研究区西南部的人口密集区域,且多由水域环境向陆域环境减弱,汉江冲积对研究区的色素分布

产生了影响,主要为外源有机质的沉积。

2.2 钻孔沉积物记录环境演化

为了更好地揭示湖泊演化特征,将色素与湖泊沉积物中 TOC、TN 和 C/N 结合起来,可以清楚地观测每个样点不同指标的变化规律,取其中趋势较为明显的 3 个钻孔为代表(图 4),可以看出,除 C/N 以外,各项指标从深到浅大致呈上升趋势,其中 TOC 和 TN 以及 CD 和 TC 的协同性较强,处于波动上升的过程,CD/TC 不断增大,水位变浅,湖群退化较为严重,其演化过程可分为 3 个阶段进行讨论:

阶段 I: 60~30 cm, 水体环境优良, TOC (0.93%~2.06%)、TN (0.068%~0.250%) 水平相对较低, 而 C/N (7.72~14.07) 高, 各色素水平均低。此阶段的江汉平原地广人稀, 农业活动对湖泊生态影响程度较小, 湖泊有机质除随河流水源的补给外, 其他来源较少, 湖泊有机物主要来自水生生物发育, 因而湖泊初级生产力水平低, 水体呈贫营养状态。

阶段 II: 30~10 cm, 湖泊 TOC (1.57%~2.84%)、TN (0.16%~0.31%) 水平开始升高, 幅度较大, C/N (5.61~10.61) 降低, 各项色素含量随之提升, 尤其是反映富营养化的指标 Osc 明显升高。此阶段江汉平原湖区人类活动开始增强(Swain, 1985), 特别是历史时期以来人类在此围湖造田而导致了湖群萎缩减少, 湖泊有机质来源增多, 水生浮游生物开始增多, 湖泊初级生产力水平提高, 水体富营养化逐渐增强, 达到中等营养水平。

阶段 III: 10~0 cm, TOC (1.77%~3.05%)、TN (0.29%~0.41%) 含量在多数采样点达最高水平, C/N (3.83~7.42) 达到最低水平, 湖泊色素含量进一步提高。20 世纪 50 年代以来, 江汉平原湖泊与湿地急速消亡(王学雷, 2001; 邓宏兵等, 2006), 湖区农业大量使用化肥、水产养殖过程的有机质输送等导致湖泊水质严重恶化, 水体中浮游藻类显著增多, 沉积物为黑色含腥臭味的淤泥, 各样点现在多为鱼塘水体, 水体富营养化程度进一步增强, 呈重度富营养状态。已有研究表明, 在该时期 C、N、P 均呈快速上升态势, 进一步证实湖泊处于富营养化阶段(顾延生等, 2008a, 2008b)。

2.3 关键带不同沉积环境碳埋藏调查

对不同沉积环境的沉积物进行了碳埋藏调查, 其中包含了汉水阶地(1 个)、旱地(1 个)、泄洪道(1 个)、沟滩(3 个)、水田(2 个)、湖泊(3 个)、小型鱼塘(3 个)、大型渔场(2 个)共 16 个点位, 8 种沉积环境类型(表 2)。

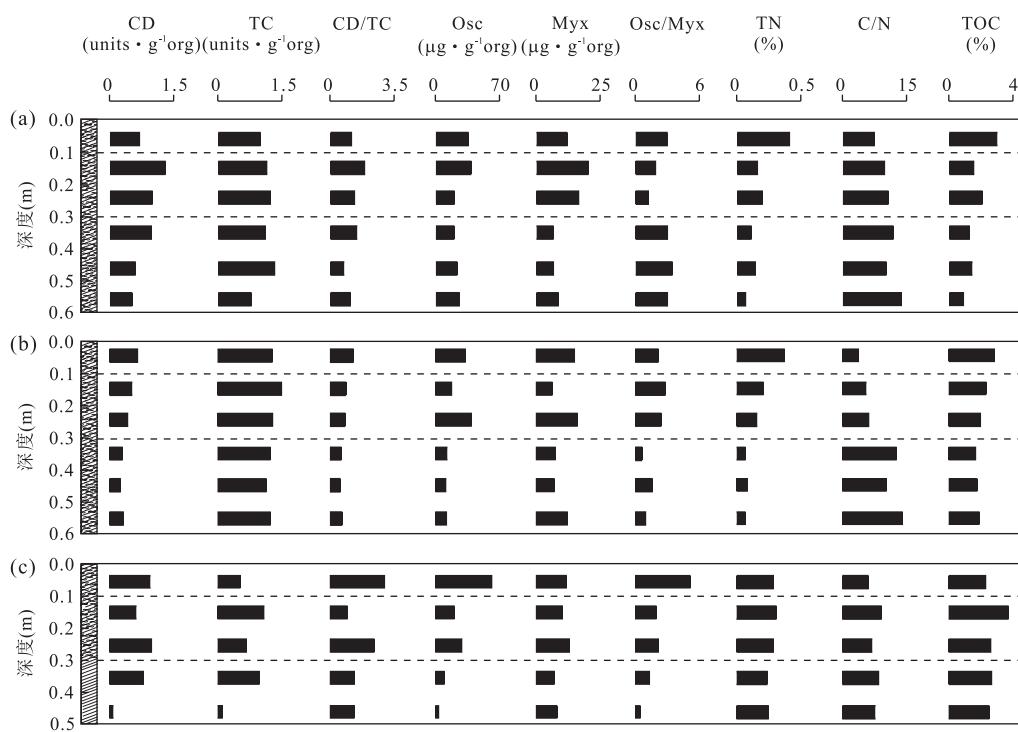


图 4 关键带沉积物色素、TN 以及 TOC 含量变化

Fig.4 Changes of pigments, TN and TOC in the sediment of critical zones in Xiantao
a.CZ-MW-9 钻孔; b.CZ-PC-16 钻孔; c.CZ-PC-17 钻孔

表 2 关键带典型沉积环境与碳埋藏

Table 2 Typical depositional environments and carbon burial of the critical zones

采样点	沉积类型	深度(m)	岩心碳埋藏总量(g)	平均埋藏速率($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	采样点	沉积类型	深度(m)	岩心碳埋藏总量(g)	平均埋藏速率($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
CZ-MW-1	阶地	6.0	25.24	3.61	CZ-MW-9	湖泊	0.5	121.92	31.06
CZ-MW-2	旱地	1.3	47.20	5.55	CZ-PC-16	湖泊	0.5	147.29	37.53
CZ-MW-7	泄洪道	0.8	21.29	6.51	CZ-PC-13	鱼塘	0.3	68.08	26.02
CZ-PC-3	水稻田	0.9	146.10	24.82	CZ-MW-14	鱼塘	0.1	44.26	45.10
CZ-PC-4	水稻田	0.8	104.46	19.96	CZ-PC-15	鱼塘	0.1	75.65	77.09
CZ-PC-17	滩地	0.4	124.19	37.97	CZ-PC-18	鱼塘	0.3	148.88	56.90
CZ-MW-8	沟渠	0.3	130.27	49.78	CZ-MW-10	渔场	0.3	186.22	71.17
CZ-PC-12	沟渠	0.5	149.01	40.07	CZ-PC-11	渔场	0.3	203.35	77.71

2.3.1 汉水阶地 对汉水一级阶地天然剖面的前 6 m 进行了碳埋藏分析, 间隔为 1 m。每 1 m 钻孔沉积物碳埋藏量为 4.21 g, 其碳埋藏速率整体较低, 平均为 $3.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 总体呈上升趋势, 在 3 m 处出现高值, 此时约为 750 a 前的宋元朝代, 经济重心南移, 江汉地区人口增多, 水体富营养化整体加剧, 出现了向上波动的趋势, 此后沉积物有机碳埋藏速率加快, 在表层达到最大值。

2.3.2 旱地 研究区旱地点位于脉旺后黄村, 每 1 m 钻孔沉积物碳埋藏量为 36.3 g, 平均埋藏速率为 $5.55 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 速率相对较低, 为波动上升趋势, 表层相对较高, 其近代主要有机碳来源为人工

施加化肥。

2.3.3 泄洪道 汉江泄洪道, 在平常无水患时被村民利用种植玉米、甘蔗等, 为冲积环境, 泄洪后常积水成池, 见零星鱼塘。取样地为泄洪道中旱地, 每 1 m 钻孔沉积物碳埋藏量为 26.61 g, 平均埋藏速率为 $6.51 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 速率相对较低, 期间有下降趋势, 为泄洪原因影响。

2.3.4 水稻田 两处水稻田分别位于陈家台和太洪村, 每 1 m 钻孔沉积物碳埋藏量分别为 162.33 g 和 130.58 g, 平均埋藏速率为 $24.82 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $19.96 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 二者变化趋势较为一致, 均从 0.4 m 开始有了较大幅度上升, 现代表土沉积

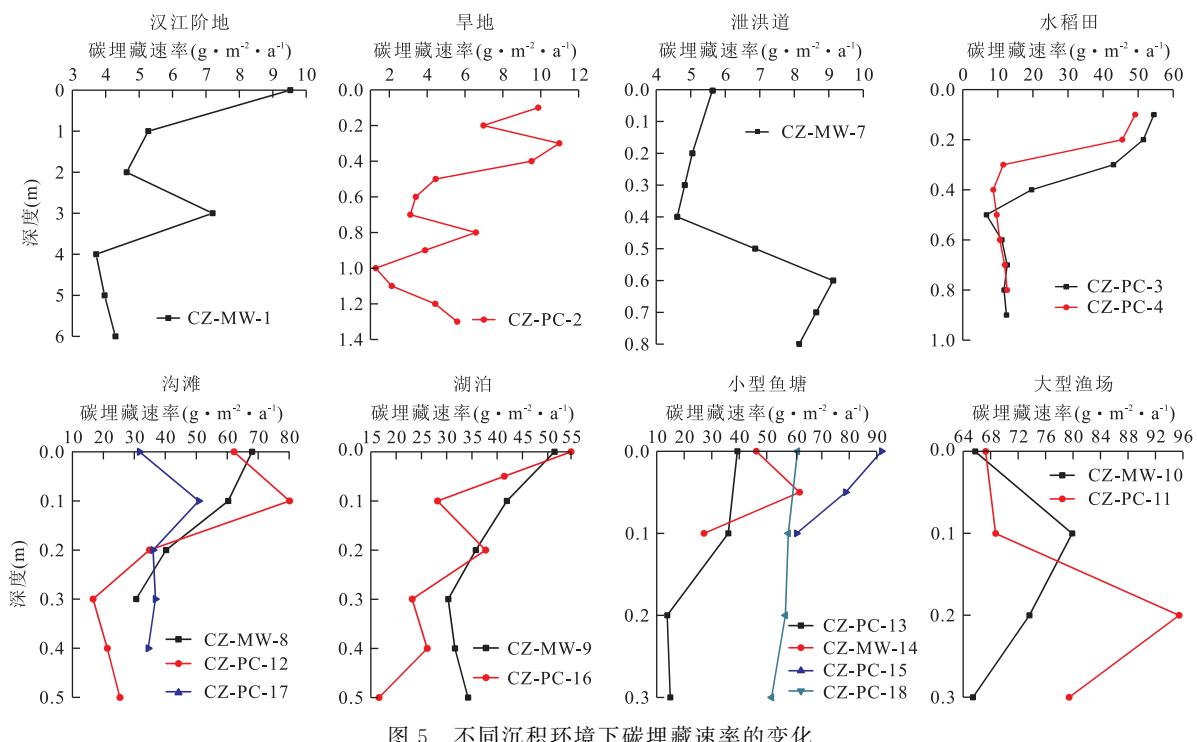


图5 不同沉积环境下碳埋藏速率的变化

Fig.5 Changes of carbon burial in different depositional environments

物中碳埋藏速率达到最高值,0.4 m附近转折点为现代水稻种植的起点。

2.3.5 沟滩 江汉地区的沟渠和小河流多受到严重人为干扰,生活废水、工业废水的排放以及禽畜的养殖导致沟渠和小河流的滩地沉积物多为淤泥,含有机质较高,水面普遍布满藻类,富营养化严重。研究所取3处沟渠滩地的有机碳埋藏速率均相对较高,其变化趋势较为一致,均在0.2 m以上急剧升高,反映了近二三十年间人类活动的剧烈程度远超之前水平。

2.3.6 湖泊 研究区域沉积环境以湖相沉积为主,湖泊为研究区域受到影响最大的环境因素,脉旺幅的湖泊碳埋藏速率均处于较低水平。湖泊碳埋藏速率均在波动中稳步上升,其中相林湖(CZ-MW-9)位于湖泊中心,受到的干扰较小,所反映的碳埋藏速率变化较为真实可靠。

2.3.7 鱼塘 江汉湖群星罗密布,而20世纪50年代大面积围湖造田导致大湖瓦解成为许多小型浅水湖泊,又经人类改造为鱼塘,彭场镇图幅中大部分水域被改造为鱼塘,其埋藏平均速率均相对较高,为 $26.02\sim77.09\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,多数高于自然湖泊,且鱼塘沉积物中的埋藏速率多呈上升趋势。现代养殖业对有机碳埋藏的影响相对于其他类型的农业均较大。

2.3.8 渔场 大型渔场,生产规模较大,形成渔场

时间比较久,碳埋藏速率整体呈升高趋势,却并非在表层最高,而是在10~20 cm深处达到峰值,在表层则有降低,但仍处于相当高的水平。可能是由于国家实行了生态保护的相关政策,大型渔场无法像以前一样无限制地破坏湖泊生态环境,而采取了相关的限制措施,因而表层出现下降趋势。

3 结论

各沉积环境中碳埋藏速率均随时间变化而变化,整体表现为越接近现代,人类活动与富营养化呈增强趋势,其有机碳埋藏速率呈上升趋势。人类活动加快了仙桃地区湿地生态演化并呈现明显的阶段性。整体而言,碳埋藏速率随着人类活动的增强而增强,但在不同的沉积环境中,碳埋藏速率的变化幅度也有差异。

在湖相沉积物中,有机碳埋藏速率随着淤泥的沉积而沉积,因湖泊水流动力弱而沉积速率较快。特别是水产养殖业饲料投放和生活污水的排放,造成水体富营养化加剧,因此导致大型渔场、小型鱼塘、退化河流的淤泥河滩、湖泊、水稻田碳埋藏速率相对较高的主要因素为人类活动的加剧以及较弱湖泊水动力。在泄洪道、旱地中,因其沉积物主要来自洪水或者河流改道,虽有较强的水动力,但因人类在该环

境中活动较强,农业生产导致该类沉积环境中有机碳埋藏速率较汉水阶地高。

通过对仙桃地区关键带有机碳埋藏的研究,笔者总结出影响有机碳埋藏速率的因素主要为人类活动和水动力,且人为因素对碳埋藏的影响程度高于自然因素。江汉平原碳埋藏速率由高到低依次为大型渔场—小型鱼塘—沟滩—湖泊—水稻田—泄洪道—旱地—汉水阶地。

References

- Deng, H.B., Zhang, Y., Li, J.J., 2006. On the Ecological Problems and the Countermeasures of Jianghan Lake Zone in the Middle Reaches of Yangtze River. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 6 (4): 56—59 (in Chinese with English abstract).
- Deng, Y.M., Wang, Y.X., Li, H.J., et al., 2015. Seasonal Variation of Arsenic Speciation in Shallow Groundwater from Endemic Arsenicosis Area in Jianghan Plain. *Earth Science*, 40 (11): 1876—1886 (in Chinese with English abstract).
- Dong, X.H., Anderson, N.J., Yang, X.D., et al., 2012. Carbon Burial by Shallow Lakes on the Yangtze Floodplain and Its Relevance to Regional Carbon Sequestration. *Global Change Biology*, 18 (7): 2205—2217. doi: 10.1111/j.1365—2486.2012.02697.x
- Gu, Y.S., Li, K.J., Qin, Y.M., et al., 2013. Impact of Human Activity on the Evolution of the Ecological Environment of Jianghan Lake Group in the Historical Period, Central China. *Earth Science*, 38 (Suppl. 1): 133—144 (in Chinese with English abstract).
- Gu, Y.S., Li, X.Y., Qiu, H.O., et al., 2008a. Sediments Records of Eutrophication History in the Donghu Lake, Wuhan, over the Past 100 Years. *Ecology and Environment*, 17 (1): 35—40 (in Chinese with English abstract).
- Gu, Y.S., Qiu, H. O., Xie, S.C., et al., 2008b. Lake Sediment Records for Eutrophication History in Response to Human Activity during Recent Century in the Liangzi Lake, Hubei Province. *Earth Science*, 33 (5): 679—686 (in Chinese with English abstract).
- Guo, Z.G., Yang, Z.S., Qu, Y.H., et al., 1999. Distribution Pattern of Carbon Storage in the Surficial Sediments in the Middle Continental Shelf Mud Area and Its Adjoining East China Sea Areas. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 30 (4): 421—426 (in Chinese with English abstract).
- Kayranli, B., Scholz, M., Mustafa, A., et al., 2010. Carbon Storage and Fluxes within Freshwater Wetlands: A Critical Review. *Wetlands*, 30 (1): 111—124. doi: 10.1007/s13157—009—0003—4
- Krishnamurthy, R. V., Bhattacharya, S. K., Kusumgar, S., 1986. Palaeoclimatic Changes Deduced from $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and C/N Ratios of Karewa Lake Sediments, India. *Nature*, 323 (6084): 150—152. doi: 10.1038/323150a0
- Lal, R., 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304 (5677): 1623—1627. doi: 10.1126/science.1097396
- Leavitt, P.R., 1993. A Review of Factors that Regulate Carotenoid and Chlorophyll Deposition and Fossil Pigment Abundance. *Journal of Paleolimnology*, 9 (2): 109—127. doi: 10.1007/bf00677513
- Li, C.A., Zhang, Y.F., Yu, S.Y., et al., 2009. Grain Size Characteristics and Environmental Significance of Hanjiang 2005 Flood Sediments. *Quaternary Sciences*, 29 (2): 276—281 (in Chinese with English abstract).
- Li, J.C., Ma, H.R., Ding, L.L., et al., 2004. Determination of Pigments in Lake Sediment with UV-VIS Spectrophotometry. *Environmental Science and Technology*, 27 (4): 36—37 (in Chinese with English abstract).
- Mayer, L.M., 1994. Surface Area Control of Organic Carbon Accumulation in Continental Shelf Sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58 (4): 1271—1284. doi: 10.1016/0016—7037(94)90381—6
- Meyers, P. A., 1994. Preservation of Elemental and Isotopic Source Identification of Sedimentary Organic Matter. *Chemical Geology*, 114 (3—4): 289—302. doi: 10.1016/0009—2541(94)90059—0
- National Research Council (NRC), 2001. Basic Research Opportunities in Earth Sciences. National Academy Press, Washington DC.
- Pan, G.X., Li, L.Q., Zheng, J.F., et al., 2008. Perspectives on Cycling and Sequestration of Organic Carbon in Paddy Soils of China. *Acta Pedologica Sinica*, 45 (5): 901—914 (in Chinese with English abstract).
- Qu, W.C., Wu, R.J., Wang, S.M., et al., 2000. Sedimentary Pigment and Its Environmental Signification of East Juyanghai in Inner Mongolia since the Past 2 600 Years. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18 (1): 13—17 (in Chinese with English abstract).
- Shen, H.Y., Li, S.J., Shu, W.X., 2007. Pigments in the Lake Sediments: Environmental Indicator. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 27 (3): 37—42 (in Chinese with English abstract).
- Swain, E. B., 1985. Measurement and Interpretation of Sedimentary Pigments. *Freshwater Biology*, 15 (1): 53—75. doi: 10.1111/j.1365—2427.1985.tb00696.x
- Tranvik, L.J., Downing, J.A., Cotner, J.B., et al., 2009. Lakes and Reservoirs as Regulators of Carbon Cycling and Climate. *Limnology and Oceanography*, 54 (6, Part 2):

- 2298—2314.doi:10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2298
- Wang, X. L., 2001. Evaluation on Vulnerability of Wetland and Ecological Rehabilitation of Jianghan Plain. *Journal of Central China Normal University(Nat. Sci.)*, 35(2): 237—240(in Chinese with English abstract).
- Wu, Y. H., Hou, X. H., Cheng, X. Y., et al., 2007. Combining Geochemical and Statistical Methods to Distinguish Anthropogenic Source of Metals in Lacustrine Sediment: A Case Study in Dongjiu Lake, Taihu Lake Catchment, China. *Environmental Geology*, 52(8): 1467—1474.doi: 10.1007/s00254-006-0587-4
- Xi, X. H., Yang, Z. F., Xia, X. Q., et al., 2009. Calculation Techniques for Soil Carbon Storage of China Based on Multi-Purpose Geochemical Survey. *Earth Science Frontiers*, 16(1): 194—205 (in Chinese with English abstract).
- Yang, D. Y., Li, X. S., Zhang, Z. K., 2000. Lake Evolution along Middle-Lower Reaches of the Yangtze River. *Journal of Lake Sciences*, 12(3): 226—232 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. F., Zhang, C. G., 2014. Earth's Critical Zone: A Holistic Framework for Geo-Environmental Researches. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 41(3): 98—104 (in Chinese with English abstract).
- Yu, J. Q., Wang, X. Y., Li, J., et al., 2001. Paleoenvironmental Interpretations on Organic Carbon Isotopic Records from Lake Sediments: A Critique. *Journal of Lake Sciences*, 13(1): 72—78 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, Z. Q., Zhang, C. M., Li, J., et al., 2013. Carbon Stock and Cycling of Wetland Ecosystem. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 29(26): 88—92 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. P., Wang, L., Hu, J. J., et al., 2011. Organic Carbon Accumulation Capability of Two Typical Tidal Wetland Soils in Chongming Dongtan, China. *Journal of Environmental Sciences*, 23(1): 87—94. doi: 10.1016/s1001-0742(10)60377-4
- Zhang, Y., Kong, X. D., Deng, H. B., et al., 2010. Change Characteristic of Lakes in Hubei Province in the Past 100 Years. *Wetland Science*, 8(1): 15—20 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. F., Li, C. A., Sun, X. L., et al., 2016. Sediment Magnetism Characteristics and Its Climatic Environment Significance of Northeast Margin of Jianghan Plain. *Earth Science*, 41(7): 1225—1230 (in Chinese with English abstract).
- 态环境问题与整治对策.中国地质大学学报(社会科学版), 6(4): 56—59.
- 邓娅敏,王焰新,李慧娟,等,2015.江汉平原砷中毒病区地下水砷形态季节性变化特征.地球科学, 40(11): 1876—1886.
- 顾延生,李观家,秦养民,等,2013.历史时期以来人类活动与江汉湖群生态环境演变.地球科学, 38(增刊1): 133—144.
- 顾延生,李雪艳,邱海鸥,等,2008a.100年来东湖富营养化发生的沉积学记录.生态环境, 17(1): 35—40.
- 顾延生,邱海鸥,谢树成,等,2008b.湖北梁子湖近代沉积记录对人类活动的响应.地球科学, 33(5): 679—686.
- 郭志刚,杨作升,曲艳慧,等,1999.东海中陆架泥质区及其周边表层沉积物碳的分布与固碳能力的研究.海洋与湖沼, 30(4): 421—426.
- 李长安,张玉芬,袁胜元,等,2009.江汉平原洪水沉积物的粒度特征及环境意义——以2005年汉江大洪水为例.第四纪研究, 29(2): 276—281.
- 李金城,马宏瑞,丁丽丽,等,2004.紫外可见分光光度法测定湖泊沉积物中的色素.环境科学与技术, 27(4): 36—37.
- 潘根兴,李恋卿,郑聚峰,等,2008.土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题.土壤学报, 45(5): 901—914.
- 瞿文川,吴瑞金,王苏民,等,2000.近2600年来内蒙古居延海湖泊沉积物的色素含量及环境意义.沉积学报, 18(1): 13—17.
- 申慧彦,李世杰,舒卫先,2007.湖泊沉积物中色素的研究及其环境指示意义.海洋地质与第四纪地质, 27(3): 37—42.
- 王学雷,2001.江汉平原湿地生态脆弱性评估与生态恢复.华中师范大学学报(自然科学版), 35(2): 237—240.
- 奚小环,杨忠芳,夏学齐,等,2009.基于多目标区域地球化学调查的中国土壤碳储量计算方法研究.地学前缘, 16(1): 194—205.
- 杨达源,李徐生,张振克,2000.长江中下游湖泊的成因与演化.湖泊科学, 12(3): 226—232.
- 杨建锋,张翠光,2014.地球关键带:地质环境研究的新框架.水文地质工程地质, 41(3): 98—104.
- 余俊清,王小燕,李军,等,2001.湖泊沉积有机碳同位素与环境变化的研究进展.湖泊科学, 13(1): 72—78.
- 曾掌权,张灿明,李姣,等,2013.湿地生态系统碳储量与碳循环研究.中国农学通报, 29(26): 88—92.
- 张毅,孔祥德,邓宏兵,等,2010.近百年湖北省湖泊演变特征研究.湿地科学, 8(1): 15—20.
- 张玉芬,李长安,孙习林,等,2016.江汉平原东北缘麻城剖面磁化率特征及气候环境意义.地球科学, 41(7): 1225—1230.

附中文参考文献

邓宏兵,张毅,李俊杰,2006.长江中游江汉平原湖区主要生