

# 池塘植藕对沉积物养分和酶活性的影响

杨 镇<sup>1</sup>, 彭 亮<sup>1,2</sup>, 陶 玲<sup>2</sup>, 姚雁鸿<sup>2</sup>, 朱建强<sup>1</sup>, 李 谷<sup>2</sup>

(1. 长江大学农学院, 湖北 荆州 434025;

2. 中国水产科学院长江水产研究所, 湖北 武汉 430223)

**摘要:** 为了揭示池塘种植莲藕(*Nelumbo nucifera*)对沉积物养分吸收及其养分转化相关酶的作用效果, 将基本情况完全相同的养殖池塘分为植藕组(TI)和非植藕对照组(CK), 观察 2 组池塘在黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)苗种培育过程沉积物中养分和 4 种酶(脲酶、磷酸酶、蛋白酶、蔗糖酶)活性变化。结果显示, 与 CK 相比, TI 沉积物中的总氮(TN)、氨态氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )和硝态氮( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )在莲藕苗期后均显著降低, 在莲藕休眠期分别降低了 8.5%、54.1% 和 52.7%, 其中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  减少是沉积物中 TN 降低的主要原因; 莲藕苗期至花果期的总磷(TP)明显下降, 最大降幅达 22.6%; 苗期后的有机质(OM)开始显著降低, 休眠期相对对照组降低 8.4%。对 2 组池塘而言, 沉积物的酶活性均呈现先增加、后降低的变化趋势, TI 沉积物中 4 种酶的平均活性均高于 CK, 酶活性的差异在莲藕苗期和休眠期达显著水平( $P < 0.05$ )。研究表明, 4 种酶之间存在着显著正相关关系, 脲酶、磷酸酶和蔗糖酶活性与沉积物中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的含量呈显著负相关, 蛋白酶活性与沉积物中  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的含量呈显著正相关( $P < 0.05$ )。

**关键词:** 池塘; 莲藕; 黄颡鱼; 沉积物; 酶活性

**中图分类号:** Q55    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1674-3075(2022)05-0134-07

高度集约化的水产养殖方式在满足人们对水产品需求的同时, 也导致过剩饲料和大量鱼类排泄物沉积在各类养殖池塘底部(Gondwe et al, 2012; Mehana et al, 2015)。已有研究表明, 饲料中只有 23.0% 的氮和 46.5% 的磷被水生动物利用, 其余的则留在池塘底部或排放到周围的水体中(Martinez-Porchas et al, 2012; 孙志萍等, 2018)。沉积物既是污染物的蓄积库, 也是水体的污染源。因此, 在外源污染物被截断的情况下, 底泥作为内源污染仍会释放氮、磷等营养元素, 从而促进藻类异常增殖, 加速水体富营养化进程(Miltiadis & Ierotheos, 2014; 吴军伟等, 2018)。显然, 养殖池塘的污染控制和修复技术对于池塘清洁与健康养殖十分重要。

种植水生植物是池塘养殖中最常用的水清洁措施, 植物在其自身生长过程中能够吸收水体及底泥

中的氮磷等营养物质, 还可以通过定期收获水生植物带走一些营养物质, 从而有效减轻养殖环境的受污染程度(冯雅清, 2019)。将水产养殖与植物水培相结合用于改善池塘养殖环境的技术已较为成熟(Geisenhoff et al, 2016; Nuwansi et al, 2016; Hundley, 2018; Liu et al, 2019)。已有研究证明, 塘底部沉积物中氮磷等养分的转化主要依靠酶和微生物, 其中脲酶和蛋白酶是氮素转化过程中发挥重要作用的 2 种水解酶, 蔗糖酶直接参与土壤有机质的代谢过程, 并为生物体提供能量, 磷酸酶活性可反映沉积物有机磷的分解或供磷能力(周礼恺, 1987; Fabiano & Danovaro, 1998; 齐继薇等, 2014; Li et al, 2015)。

近年来, 对于沉积物中有关酶活性的研究重点已转向外界环境变化对酶活性的影响, 林海等(2011)认为微孔增氧相比机械增氧可以显著提高池塘沉积物中酶的活性; 王祖峰等(2021)发现养水机能显著降低沉积物酶活性、微生物活性和有机质含量; 伏小勇等(2015)得出接种蚯蚓能显著提升系统初期的微生物量而加速沉积物中有机质的降解。目前, 关于沉积物中酶的研究已经涵盖了多种池塘环境, 而有关一定经济价值的大型植物对池塘沉积物养分和酶活性的影响尚不多见。从合理利用池塘中多余的营养物质、降低修复成本考虑, 本文以经济作物莲藕(*Nelumbo nucifera*)为试验对象, 构建莲藕—黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)共生池塘系统, 重点监测在黄颡鱼

**收稿日期:** 2021-04-21    **修回日期:** 2021-12-09

**基金项目:** 国家重点研发计划(2019YFD0900302); 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-46)和湖北省生态循环农业创新体系项目(2018skjcx01)。

**作者简介:** 杨镇, 1996 年生, 男, 硕士研究生, 研究方向为资源环境与农业生态。E-mail: 2421135784@qq.com

**通信作者:** 李谷, 1964 年生, 男, 研究员, 博导, 主要从事渔业环境保护和水产健康养殖研究。E-mail: ligu@yfi.ac.cn

朱建强, 1963 年生, 男, 教授, 博导, 主要从事水土环境与农业研究。E-mail: zyjzb@sina.com

苗种培育过程植藕池塘沉积物中的养分与4种酶(脲酶、磷酸酶、蛋白酶和蔗糖酶)的活性变化,并与非植藕池塘进行比较,试图阐明莲藕种植对池塘沉积物养分的去除效果和对相关酶的影响。

## 1 材料方法

### 1.1 试验设计

将完全相同的试验塘分为植藕组(TI)和非植藕对照组(CK)进行黄颡鱼鱼种培育。试验塘大小均为440 m<sup>2</sup>(20 m × 22 m),生态环境相同。为防止莲藕满塘滋生,将四周沉积物向中部起垄形成植藕区域,并在植藕区域使用硬质纤维隔板围起,插入淤泥0.6 m,隔板所包围的形状呈圆形,直径为8.0 m(图1)。

试验地点位于湖北省荆州市中国水产科学研究院长江水产研究所窑湾试验基地,该地区属于亚热带湿润季风气候,年均气温16.2℃,平均无霜期252 d,平均降雨量1 200 mm,养殖生产时间为每年4~11月。

池塘种植的莲藕品种为“鄂莲5号”,于2020年5月20号移栽,株行距为1.5 m × 2.0 m。从莲藕栽种至种子萌发,保持池塘底部种植区土面湿润。随着莲藕生长,

将池塘水位由初期的2~5 cm逐渐提高至50~120 cm。2020年7月28投放尾均重0.21 g的黄颡鱼共计8 000尾,正常情况下定时定量投喂人工颗粒饲料。黄颡鱼苗种培育期投食量,初期为总重量的5%,中期3%,后期2%;每天9:00和17:00定投,投饵量分别占40%和60%。

### 1.2 样本采集

分别在5月10日(莲藕种植前)、6月11日(幼苗期)、7月18日(成苗期)、8月22日(花果期)、10月1日(结藕期)和11月1日(休眠期)进行沉积物取样。使用抓斗式底泥采集器,在每个池塘莲藕种植区域采用对角交叉(五点法)采集5个沉积物样本,均匀混合后过50目筛,剔除石头和植物残渣后分为2份,置于-20℃的冰箱中保存,用于后续理化分析和酶活性测定。

### 1.3 样本测定

土壤理化指标测定包括氨态氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、亚硝态氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)、总氮(TN)、有效磷(AP)、总磷(TP)以及有机质(OM),测定方法参照文献进行(鲍士旦, 2000)。土壤酶活性测定包括脲酶(S-SC)、蔗糖酶(S-UE)、磷酸酶(S-NP)、蛋白酶(S-NPT),均采用上海索桥生物科技有限公司试剂盒法(微量比色法)测定。

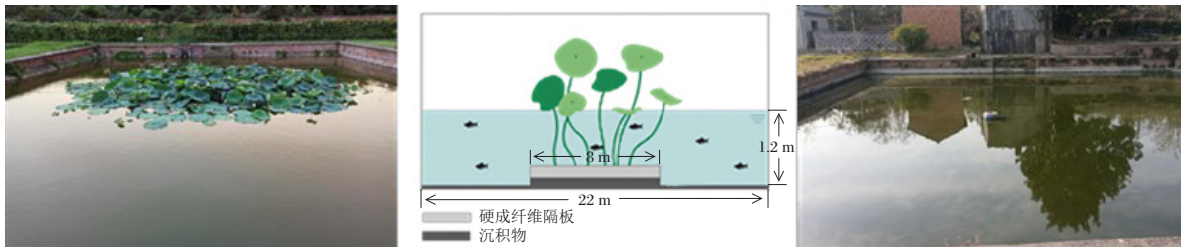


图1 黄颡鱼试验塘植藕组(左)及荷花垄结构(中)和非植藕对照组(右)

Fig.1 Experimental yellow catfish culture ponds: pond planted with lotus (left), a diagram of the lotus ridge structure (middle) and a pond without lotus as the control (right)

### 1.4 数据分析

使用SPSS22.0对数据进行处理和方差分析,通过Origin进行Spearman相关分析与绘图。

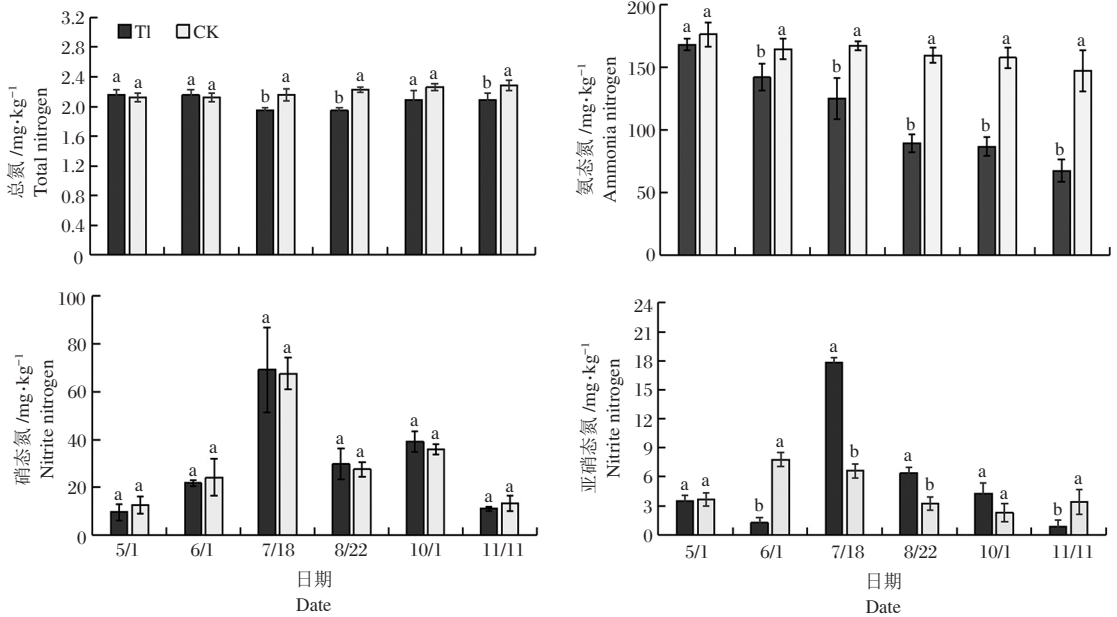
## 2 结果与分析

### 2.1 不同时期池塘沉积物养分含量

2.1.1 氮含量 试验组(TI)和对照组(CK)池塘不同莲藕生长期沉积物氮含量变化见图2。TI在7月18日即莲藕成苗期时TN含量显著低于CK( $P<0.05$ );在8月22日、10月1日和11月11日时,TI和CK中TN含量相较之前有所上升,但TI仍显著低于CK,并于种养结束时,TI中TN含量相较CK降低8.5%。沉积物中可溶性氮主要以NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N形式存在,CK中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量在各个时期变化较小,TI于莲藕进入苗期(6月1日)后,

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量开始显著降低( $P<0.05$ );莲藕休眠期时(11月11日),TI相较CK降低54.1%。在莲藕幼苗期至花果期以及休眠期,TI中NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N含量(6月1日、7月18日、8月22日和11月11日)显著低于CK( $P<0.05$ ),莲藕休眠期TI相较CK降低52.7%。2组池塘中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量在各个时期均无显著性差异( $P<0.05$ )。

2.1.2 磷含量 2组池塘沉积物中TP和AP的变化趋势见图3。在莲藕生长后期,伴随投饲,沉积物中AP含量明显高于前期,但TI与CK之间的差异普遍不显著(仅8月22日有显著差异);而TP含量在整个生育期变化较小,除去5月1日和10月1日,TI与CK之间其他时期均具有显著差异( $P<0.05$ );其中,与CK相比,TI沉积物TP含量在莲藕花果期降低最多(22.6%),在莲藕休眠期降低10.9%。

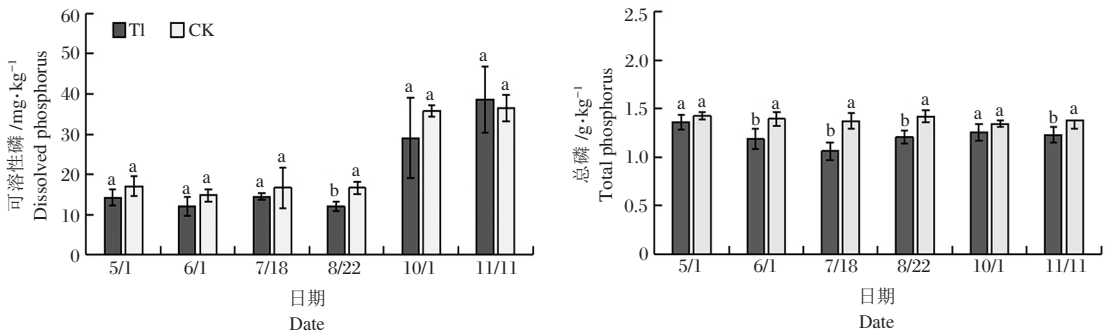


不同字母表示同一参数下不同养殖环境之间在 0.05 水平上存在显著差异, LSD,  $n=3$

图 2 植藕和非植藕池塘试验期间沉积物氮含量变化

Different letters indicate that there are significant differences at the level of 0.05 between different breeding environments, LSD,  $n=3$

Fig.2 Sediment nitrogen content in treatment (T1) and control (CK) ponds during the experiment



(不同字母表示同一参数下不同养殖环境之间在 0.05 水平上存在显著差异, LSD,  $n=3$ )

图 3 植藕和非植藕池塘试验期间沉积物磷含量变化

(Different letters indicate that there are significant differences at the level of 0.05 between different breeding environments, LSD,  $n=3$ )

Fig.3 Sediment phosphorus content in treatment (T1) and control (CK) ponds during the experiment

2.1.3 有机质含量 试验期间 2 组池塘沉积物有机质含量(OM)均呈现先降低后增加的趋势,在 7 月 18 日时达到最低(图 4)。与 CK 相比, T1 沉积物中 OM 含量在莲藕苗期无显著差异,在成苗期后显著降低 ( $P<0.05$ ),在休眠期降低了 8.4%。

## 2.2 沉积物酶活性比较

不同处理沉积物的蔗糖酶、蛋白酶、脲酶和磷酸酶活性分析结果如图 5。

2.2.1 蔗糖酶 2 组池塘沉积物的蔗糖酶在莲藕苗期快速增长,成苗期后变化较为平缓, T1 和 CK 的蔗糖酶活性分别在 7 月 18 日和 8 月 22 日达到峰值。蔗糖酶活性 T1 为 5.31~21.57 mg/(kg·d), 平均为 15.16 mg/(kg·d); CK 为 4.18~20.94 mg/(kg·d), 平均

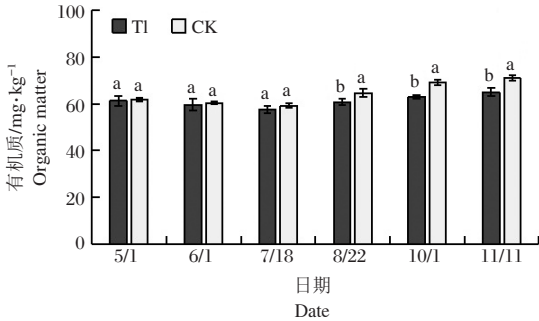
12.34 mg/(kg·d)。2 组池塘相比,试验期间 T1 的蔗糖酶平均活性较高,在成苗期和花果期显著高于 CK ( $P<0.05$ )。

2.2.2 蛋白酶 2 组池塘沉积物蛋白酶均呈先升高、再降低的趋势,于 8 月 22 日达到峰值。T1 蛋白酶活性为 3.29~23.69 mg/(kg·d), 平均值为 15.36 mg/(kg·d); CK 蛋白酶活性为 3.31~22.15 mg/(kg·d), 平均值为 11.74 mg/(kg·d)。2 组池塘相比, T1 蛋白酶平均活性较高,并在成苗期、花果期和休眠期时显著高于 CK ( $P<0.05$ )。

2.2.3 脲酶 2 组池塘脲酶活性呈现先增加、后缓慢降低的趋势。T1 脲酶活性为 28.84~209.83 mg/(kg·d), 平均值为 150.54 mg/(kg·d); CK 脲酶活性为 30.00~136.49 mg/(kg·d), 平均值为 122.27 mg/(kg·d)。2 组



池塘相比,T1沉积物脲酶活性平均值较大,仅在成苗期的活性显著高于CK,其他时期与CK均无显著差异( $P<0.05$ )。



不同字母表示不同养殖环境之间在0.05水平上存在显著差异,LSD, $n=3$

图4 植藕和非植藕池塘沉积物有机质含量变化

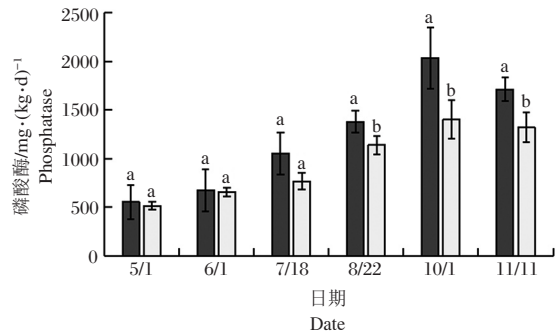
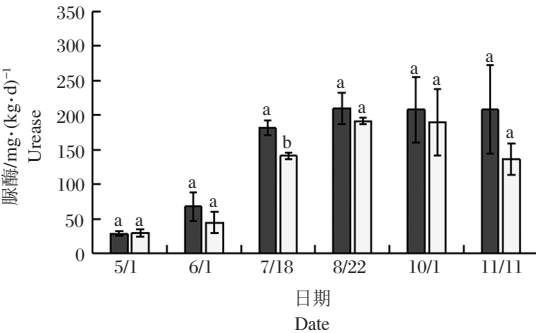
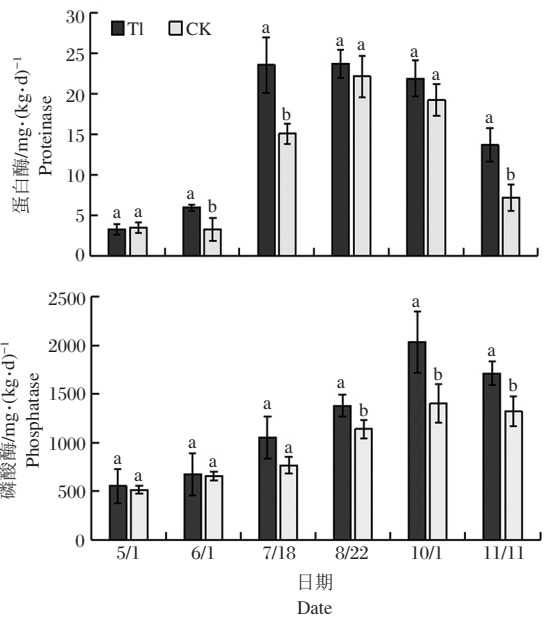
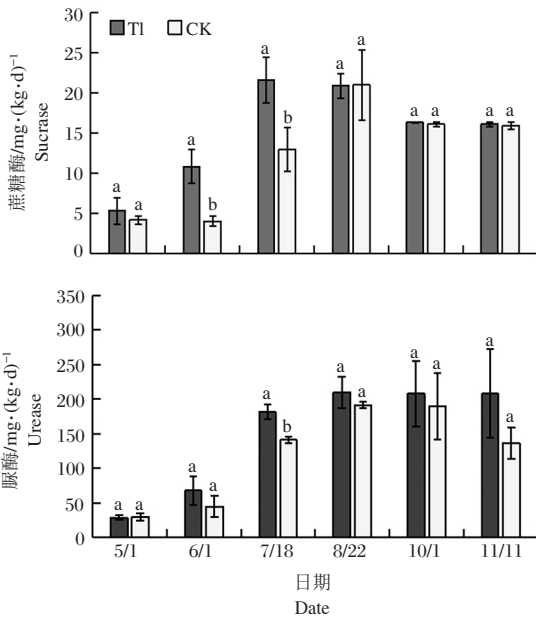
Different letters indicate that there are significant differences at the level of 0.05 between different breeding environments, LSD,  $n=3$

Fig.4 Sediment organic matter in treatment (T1) and control (CK) ponds during the experiment

2.2.4 磷酸酶 2组池塘磷酸酶变化趋势相同,即到结藕期为止,磷酸酶活性逐渐增强,随后衰弱。检测分析表明,T1磷酸酶活性为553.73~2 031.61 mg/(kg·d),平均值为1 233.77 mg/(kg·d);CK磷酸酶活性为514.4~1 319.13 mg/(kg·d),平均值为965.72 mg/(kg·d)。2组池塘相比,试验期间T1磷酸酶平均活性较高,并且莲藕进入花果期后,即在8月22日、10月1日和11月11日时,显著高于CK( $P<0.05$ )。

### 2.3 沉积物养分与酶活性的关系

为了进一步探究池塘沉积物养分变化与酶活性之间的关系,对2组数据进行了Spearman相关分析,结果如图6。沉积物的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量与脲酶和磷酸酶呈极显著负相关( $P<0.01$ ),与蔗糖酶活性呈显著负相关( $P<0.05$ );沉积物的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量与蛋白酶活性呈极显著正相关( $P<0.01$ );其他养分因子与酶活性之间无显著相关性。



不同字母表示同一参数下不同养殖环境之间在0.05水平上存在显著差异,LSD, $n=3$

图5 不同处理下沉积物蔗糖酶、蛋白酶、脲酶和磷酸酶活性变化

Different letters indicate that there are significant differences at the level of 0.05 between different breeding environments, LSD,  $n=3$

Fig.5 Sucrase, protease, urease and phosphatase activities in the sediments in treatment (T1) and control (CK) ponds during the experiment

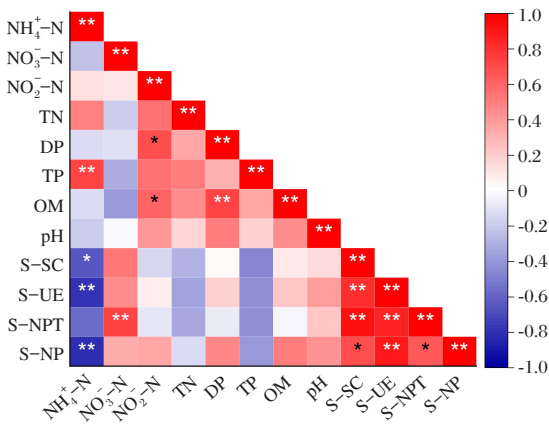
值得注意的是,2组池塘中4种酶的活性之间均有着显著正相关的关系( $P<0.05$ ),表明不同酶之间有着正向促进的关联性。

## 3 讨论

### 3.1 水生植物对池塘底泥养分的吸收转化

水生植物是池塘生态系统的重要组成部分,影响水体氧化还原电位、溶氧及pH等,在净化水质、

保护底质、鱼病预防和提高水产养殖效益方面有重要作用(秦伟等,2015)。不同的水生植物和系统设计对于沉积物的养分吸收转化差异较大,本研究也表明,池塘植藕可以显著降低沉积物中TN、TP和OM,种养结束时相比CK分别减少了8.5%、10.9%和8.4%。张扬等(2012)研究发现挺水植物对鱼塘底泥中氮的降解能力在10%左右,表明本次藕-鱼试验系统中,莲藕的种植面积较为合适,在占用较小



图中右侧色柱不同颜色代表不同的相关性,其中蓝色表示负相关,红色表示正相关,对应的数值表示两个相应指标的相关系数值;\*\*表示0.01水平上相关性显著,\*表示0.05水平上相关性显著, $n=12$ 。

图 6 沉积物养分与酶活性的 Spearman 相关分析

Different colors of the color column on the right of the figure represent different correlations, among which blue represents negative correlation and red represents positive correlation, and the corresponding values represent the correlation values of the two corresponding indicators; \*\* represents significant correlation at 0.01 level,  $n=12$ ; \* represents significant correlation at 0.05 level,  $n=12$ .

### Fig.6 Spearman correlation analysis of sediment nutrients and enzyme activities

池塘空间的同时,充分发挥了莲藕对沉积物中养分的降解作用。植藕池塘沉积物中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的快速降低是 TN 减少的主要原因,这可能与植物对氮素吸收的偏好有关。已有研究表明,部分植物在高氮环境中偏好吸收  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,而在低氮环境中偏好吸收  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  (吴巍和赵军,2010;胡绵好,2011)。

各个时期的沉积物中,AP 的含量均较低,且莲藕的种植对其影响较小,但随着莲藕生长,TP 沉积物 TP 显著低于 CK,表明莲藕的种植可以有效降低沉积物中 TP 含量,其中植物对 AP 直接的吸收只是一个方面,植物根部通过根系释放某些物质改善沉积物的环境性状,促使沉积物中氮磷转化也是十分重要的一个方面 (Yang et al, 2002; 闫兴成等, 2018)。沉积物中的有机质在分解过程中会不断消耗水体溶氧,过高的有机质含量会提高养殖风险,而大型植物的种植可以显著降低沉积物中有机质含量,提供稳定的养殖环境 (李姣等, 2018)。植藕池塘沉积物中 TN 和 TP 含量在种养前后有所降低,对照塘沉积物 TN 和 TP 显著增加,表明在本次试验系统中,种植莲藕所带走的沉积物养分大于饲料投喂所产生的量,证明了采用莲藕和鱼类共作的的方式来减缓甚至修复沉积物氮磷污染的可行性。

### 3.2 水生植物对池塘底泥酶活性的影响

酶的活性对于所处环境的变化极为敏感 (张玉兰等,2005)。已有研究表明,有植被的生长环境中

土壤酶活性要显著高于无植被的光滩,且根际土壤中的酶活性要高于非根际土 (毛志刚等,2010; 弋良朋和张辉,2011)。王光华等 (2007) 研究也表明,在不同土地利用方式中,土壤酶活性表现为:自然恢复 > 种植作物 > 休闲裸地。本研究呈现处类似结果,即植藕池塘沉积物中 4 种酶 (脲酶、磷酸酶、蛋白酶和蔗糖酶) 的平均活性均高于对照组,其中蛋白酶、脲酶和蔗糖酶在种养前期更为明显,磷酸酶在种养后期更为明显。在莲藕生长的中期,2 组池塘沉积物中 4 种酶活性差异均较小,这可能与荷叶的遮荫效果有关,荷叶宽大的叶片避免了水体被阳光的直射,有效降低了沉积物水界面的温度,一定程度上减缓了植藕池塘沉积物中酶活性的增长 (梁新民,2019)。植藕和对照池塘 4 种酶的活性均呈现先增加、后降低的趋势,表明环境温度是其主要影响因素,这与林海等 (2011) 的研究结果一致。相比于 CK, T1 中磷酸酶活性显著较强,且 DP 含量差异较小,表明植藕池塘沉积物中 TP 的减少可能主要依靠微生物的酶促反应,而莲藕种植增强了这一过程。因此,植藕池塘沉积物中的 TP 含量明显减少。

相关性分析结果表明,脲酶、磷酸酶和蔗糖酶活性与沉积物中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  呈显著负相关,蛋白酶活性与  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  呈显著正相关,这与齐继薇等 (2014) 的研究结果有所差异,原因可能是所测定沉积物所处环境的不同。本研究中,测定的沉积物在处于养殖环境中,有人为的莲藕种植、饲料投入以及养殖鱼种的干扰;同时,脲酶和蔗糖酶与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的显著负相关表明,沉积物中氮素的降低可能并不只是简单依靠莲藕的吸收作用,脲酶和蔗糖酶在此过程中也起着重要的作用。植藕塘沉积物中 4 种养分转化相关酶活性的增强,表明莲藕的种植加速了沉积物中有机物的矿化作用过程,一定程度减缓了养殖过程中底部废物的积累速度,在保持池塘健康生产中具有重要的作用。

## 4 结论

(1) 在养殖池塘种植一定比例的莲藕,可以显著降低降低沉积物中的 TN、TP 和 OM; 在养殖生产结束时, TN、TP 和 OM 分别降低 8.5%、10.9% 和 8.4%。

(2) 池塘种植莲藕后可以提升池塘沉积物中脲酶、磷酸酶、蛋白酶和蔗糖酶的平均活性,在莲藕的成苗期、花果期和休眠期较为显著,并且 4 种养分转化酶之间具有相互促进作用。

(3) 植藕池塘沉积物中 TN 和 TP 减少的主要途径有所不同,其中 TN 的减少主要依靠莲藕的吸收和脲

酶、蔗糖酶的转化作用;TP的减少主要依靠种植莲藕后对磷酸酶活性的增强,促进磷形态的转化,从而进行吸收转化。本次试验未设重复,有待后期研究改进。

### 参考文献

- 鲍士旦,2000.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社.
- 冯雅清,2019.污染水体底泥原位生物修复技术应用分析[J].中国新技术新产品,(2):137-138.
- 伏小勇,崔广宇,陈学民,等,2015.蚯蚓处理对污泥中微生物碳量及脱氢酶活性的影响[J].环境科学学报,35(1):252-256.
- 胡绵好,2011.不同基因型水生植物对铵态氮和硝态氮吸收动力学特性研究[J].生物学杂志,28(6):10-13.
- 李姣,梁旭方,方刘,等,2018.水葫芦对加州鲈池塘水质及底泥净化作用研究[J].广东农业科学,45(3):128-133.
- 梁新民,2019.池塘鱼藕生态混养技术措施[J].科学养鱼,(8):60-62.
- 林海,周刚,李旭光,等,2011.增氧对池塘沉积物酶活性的影响[J].水生态学杂志,32(5):100-104.
- 毛志刚,谷孝鸿,刘金娥,等,2010.盐城海滨湿地盐沼植被及农作物下土壤酶活性特征[J].生态学报,30(18):5043-5049.
- 齐继薇,刘长发,刘远,等,2014.双台河口潮滩湿地不同植被沉积物脲酶、蛋白酶、磷酸酶活性及其与氮、磷含量关系[J].水生态学杂志,35(4):1-7.
- 秦伟,周鑫,徐增洪,等,2015.不同放养密度和水草覆盖率下克氏原螯虾池塘底泥中微生物群落特征[J].水产科学,34(10):621-628.
- 孙志萍,秦琳,刘耀斌,等,2018.水稻对富营养化水体生态修复效应及其研究进展[J].中国水稻科学,32(5):509-518.
- 王光华,金剑,韩晓增,等,2007.不同土地管理方式对黑土土壤微生物量碳和酶活性的影响[J].应用生态学报,18(6):1275-1280.
- 王祖峰,李东萍,鲁晓倩,等,2021.不同水质调控方式对海参池塘沉积物酶活性的影响[J].水产学杂志,34(5):40-45.
- 吴军伟,赵俊松,钟先锦,2018.底泥污染物及其原位修复技术研究进展[J].中国多媒体与网络教学学报(中旬刊),(4):106-107.
- 吴巍,赵军,2010.植物对氮素吸收利用的研究进展[J].中国农学通报,26(13):75-78.
- 闫兴成,王明玥,许晓光,等,2018.富营养化湖泊沉积物有机质矿化过程中碳、氮、磷的迁移特征[J].湖泊科学,30(2):306-313.
- 弋良朋,张辉,2011.滨海4种盐生植物根际土壤酶活性特征与主要养分的关系[J].生态环境学报,20(2):270-275.
- 张扬,2012.洱海典型挺水植物对其底质氮磷的反应和影响[D].长沙:湖南农业大学.
- 张玉兰,陈利军,张丽莉,2005.土壤质量的酶学指标研究[J].土壤通报,36(4):598-604.
- 周礼恺,1987.土壤酶学[M].北京:科学出版社.
- Fabiano M, Danovaro R, 1998. Enzymatic Activity, Bacterial Distribution, and Organic Matter Composition in Sediments of the Ross Sea (Antarctica)[J]. Applied & Environmental Microbiology, 64(10):3838-3845.
- Geisenhoff L O, Jordan R A, Santos R C, et al, 2016. Effect of different substrates in aquaponic lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems[J]. Engenharia Agricola, 36(2):291-299.
- Gondwe M J, Guildford S J, Hecky R E, 2012. Tracing the flux of aquaculture-derived organic wastes in the south-east arm of Lake Malawi using carbon and nitrogen stable isotopes[J]. Aquaculture, 350-353:8-18.
- Hundley G C, Navarro F, Filho O R, et al, 2018. Integration of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) production *Origanum majorana* L. and *Ocimum basilicum* L. using aquaponics technology[J]. Acta Scientiarum Technology, 40(1):35460.
- Li X F, Hou L J, Liu M, et al, 2015. Primary effects of extracellular enzyme activity and microbial community on carbon and nitrogen mineralization in estuarine and tidal wetlands[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 99(6):2895-2909.
- Liu Y B, Qin L, Li F B, et al, 2019. Impact of Rice-Catfish/Shrimp Co-culture on Nutrients Fluxes Across Sediment-Water Interface in Intensive Aquaculture Ponds[J]. Rice Science, 26(6):416-424.
- Martinez-Porchas M, Martinez-Cordova L R, Gilman E, et al, 2012. World Aquaculture: Environmental Impacts and Troubleshooting Alternatives[J]. The Scientific World Journal, Doi:10.1100/2012/389623.
- Mehana E E, Rahmani A H, Aly S M, 2015. Immunostimulants and Fish Culture: An Overview[J]. Annual Research & Review in Biology, 6(5):477-489.
- Miltiadis Z, Ierotheos Z, 2014. Restoration of eutrophic freshwater by managing internal nutrient loads. A review[J]. The Science of the Total Environment, 496:551-562.
- Nuwansi K K T, Verma A K, Prakash C, et al, 2016. Effect of water flow rate on polyculture of koi carp (*Cyprinus carpio* var. *koi*) and goldfish (*Carassius auratus*) with water spinach (*Ipomoea aquatica*) in recirculating aquaponic system[J]. Aquaculture International, 24(1):385-393.
- Yang Y, Lin C K, Diana J S, 2002. Recycling pond mud nutrients in integrated lotus-fish culture[J]. Aquaculture, 212:213-226.

## Effects of Planting Lotus Root on Sediment Nutrients and Enzyme Activity in a Culture Pond

YANG Zhen<sup>1</sup>, PENG Liang<sup>1,2</sup>, TAO Ling<sup>2</sup>, YAO Yan-hong<sup>2</sup>, ZHU Jian-qiang<sup>1</sup>, LI Gu<sup>2</sup>

(1. Yangtze River University, Jinzhou 434025, P.R. China;

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, P.R. China)

**Abstract:** In this study, lotus (*Nelumbo nucifera*) was planted in a yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) culture pond to construct a symbiotic system. We explored the effects of lotus root (*Nelumbo nucifera*) on the removal of nutrients from fishpond sediments and on the activity of enzymes involved with nutrient conversion. Two aquaculture ponds (20 m × 22 m) with yellow catfish were set with the same basic conditions: (1) a treatment pond (T1) planted with lotus and (2) a control pond (CK) with no lotus. On May 20 2020, lotus roots were planted in the treatment pond and on July 28 yellow catfish fry were released to both ponds. The sediment of both ponds was sampled on May 10 (before lotus was planted) and June 11, July 18, August 22, October 1 and November 1 (after pond was dormant) to include the different growth phases of lotus. The sediment samples were analyzed for physicochemical parameters and the activities of four soil enzymes (urease, phosphatase, protease, sucrase). Changes in sediment nutrient levels and enzyme activity were then monitored as the yellow catfish fry and lotus grew. After the lotus grew past the seedling stage, nutrient concentrations in the T1 sediment were significantly lower than in the CK sediment. After the ponds reached the dormant stage, TN was lower in T1 by 8.5%,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  by 54.1% and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  by 52.7%. The lower TN content in T1 sediment was due primarily to the lower  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ . The TP content in sediments of T1 decreased significantly as the lotus grew from the seedling stage to the flowering stage, with a maximum reduction of 22.6%. After the seedling stage, the content of organic matter in the sediment decreased significantly, by 8.4% when the ponds had reached the dormant stage. In both ponds, the sediment enzyme activity increased initially and then decreased. The averages activities of the four enzymes in T1 sediment were all higher than those in CK sediment. The differences in enzyme activity increased through the growing season and were significant by the time the pond reached the dormant stage ( $P < 0.05$ ). Correlation analysis showed (1) a significant positive correlation among the activities of the four enzymes ( $P < 0.05$ ), (2) a significant negative correlation of urease, phosphatase and sucrase activities with  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  content, and (3) a significant positive correlation of protease activity with sediment  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  content. The results of this study demonstrate that planting lotus in a fish cultivation pond decreases sediment nutrient levels and increases the activities of nutrient converting enzymes.

**Key words:** culture pond; *Nelumbo nucifera*; *Pelteobagrus fulvidraco*; sediment; enzyme activity