

谢坤, 吴凡, 罗元, 等. 洱海农田生产/生活景观区交替分布及昼夜节律对丰水期沟渠水质影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(11): 2427-2433.

XIE Kun, WU Fan, LUO Yuan, et al. Alternating distribution of farmland and inhabited landscapes in Erhai Lake and the influence of circadian rhythm on the water quality of a ditch during flood[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(11): 2427-2433.

## 洱海农田生产/生活景观区交替分布及昼夜节律对丰水期沟渠水质影响

谢坤<sup>1,2,3</sup>, 吴凡<sup>1,2,3</sup>, 罗元<sup>1,2,3</sup>, 张克强<sup>1,3</sup>, 沈仕洲<sup>1,3</sup>, 王淑茹<sup>3</sup>, 王风<sup>1,3\*</sup>, 吴国云<sup>4</sup>, 姚金玲<sup>1</sup>

(1. 农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191; 2. 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201; 3. 农业农村部大理农业环境科学观测实验站, 云南 大理 671004; 4. 大理市湾桥镇农业综合服务站, 云南 大理 671008)

**摘要:**为揭示洱海农田生产与农村生活交替分布及昼夜节律对农灌沟渠水质影响, 选定丰水期典型沟渠设置多个断面并进行昼夜连续取样监测。结果表明:沿水流方向沟渠断面水质TN、NO<sub>3</sub>-N、TP、DP浓度先增加后相对稳定;NH<sub>4</sub>-N和COD浓度在出田后削减2.08%~55.56%和23.65%~38.19%, 出村后浓度增加;在不同生产生活单元N和COD是水体中的主要污染因子, 其中NO<sub>3</sub>-N为氮素主要形态, 占TN浓度52.73%~79.33%。沟渠水质TN和NO<sub>3</sub>-N浓度受村民作息周期和生活节律影响较大, 磷素昼夜变化幅度总体较小。在洱海农田生产和生活交替区域提高水样取样频率有助于准确了解水质浓度变化特征, 从削减污染负荷角度建议增加生态沟渠并加强污水管网管理。

**关键词:**洱海; 面源污染; 丰水期; 沟渠; 水质

中图分类号: X592 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2018)11-2427-07 doi:10.11654/jaes.2018-1135

### Alternating distribution of farmland and inhabited landscapes in Erhai Lake and the influence of circadian rhythm on the water quality of a ditch during flood

XIE Kun<sup>1,2,3</sup>, WU Fan<sup>1,2,3</sup>, LUO Yuan<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Ke-qiang<sup>1,3</sup>, SHEN Shi-zhou<sup>1,3</sup>, WANG Shu-ru<sup>3</sup>, WANG Feng<sup>1,3\*</sup>, WU Guo-yun<sup>4</sup>, YAO Jin-ling<sup>1</sup>

(1. Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China; 2. College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. Dali Agro-Environmental Science Station, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Dali 671004, China; 4. Agricultural Comprehensive Service Center of Dali Wanqiao Town, Dali 671008, China)

**Abstract:** To elucidate the influence of farmland production, rural life, and circadian rhythm on the water quality of agricultural irrigation ditches, several sections of a typical ditch was selected for continuous sampling and monitoring at day and night during the wet season. The results showed that the concentration of TN, NO<sub>3</sub>-N, TP, and DP in the ditches along the direction of water flow was relatively stable and the concentration of NH<sub>4</sub>-N and COD in the water reduced by 2.08%~55.56% and 23.65%~38.19% after exiting the field. Whereas, the concentration of NH<sub>4</sub>-N and COD in the water increased after exiting the village. Nitrogen and COD were the major water pollutants in different production and inhabited units. NO<sub>3</sub>-N was the main form of N, accounting for 52.73%~79.33% of TN concentration. The concentration of TN and NO<sub>3</sub>-N in ditches is greatly affected by the work cycle and life rhythm of villagers. The diurnal variation in phosphorus con-

收稿日期: 2018-09-02 录用日期: 2018-10-17

作者简介: 谢坤(1994—), 男, 四川广安人, 硕士研究生, 从事农业面源污染防治研究。E-mail: 1839793331@qq.com

\*通信作者: 王风 E-mail: wangfeng\_530@163.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0800103); 948项目(2016-X53); 农业部财政项目(22110402001006)

**Project supported:** The National Key R&D Program of China(2017YFD0800103); 984 Project(2016-X53); Finance Project of Ministry of Agriculture (22110402001006)

centration is generally small. Increasing the frequency of water sampling in alternate farmland and inhabited areas of Erhai Lake will help accurately understand the characteristics of water quality changes. Increasing the number of ecological ditches and strengthening the management of sewage pipelines are necessary to reduce pollution load.

**Keywords:** Erhai Lake; non-point source pollution; abundant water period; ditch; water quality

洱海是云贵高原第二大淡水湖泊,位于大理白族自治州,是大理人民的母亲湖。随着经济和社会的快速发展,洱海也出现了氮磷污染负荷增加与水体污染问题。在洱海水质保护与污染防治工作强化推进过程中,目前水质常年处于Ⅱ至Ⅲ类之间<sup>[1]</sup>,处于初期富营养化阶段<sup>[2]</sup>。已有研究工作表明,流域内农田与农村面源污染是洱海氮磷污染负荷的主要来源<sup>[3]</sup>。其中,氮污染负荷中农田比重最大,约占总氮负荷的39%;农村固体废物约占38%;农村生活废水约占13%;水土流失约占10%。磷污染负荷中农村固体废物比重最大,约占总磷负荷的41%;农田约占33%;农村生活废水约占10%;水土流失约占16%<sup>[4]</sup>。据统计,洱海流域化肥利用率仅为24.50%,每年约有13.87万~27.88万t的N、P残留在农田土壤<sup>[5]</sup>。在丰水期降水径流作用下农田成为水体N和P负荷的重要来源,降水强度也影响着农村生活对N和P的负荷比重<sup>[6]</sup>。洱海流域丰水期(雨季)为每年5到10月,丰水期为洱海流域农事耕作的集中期,促进了N、P面源污染物发生;枯水期(旱季)为每年11月至次年4月,该时期因降水较少而N、P负荷相应降低。

洱海海西是农业生产生活最集中的区域,该区域自西向东依次为苍山山地-缓坡地过度带-洱海,苍山-洱海沿线建有多条沟渠用于农业灌排水使用,沟渠流经农业生产生活区域最为典型的“田-村”景观单元交替分布模式。流域内通常的水质监测方式为人工取样监测,且多以单一监测位点和单次监测作为主要监测方案,该种监测方案不能有效区分农田生产和农村生活对沟渠水质的影响,另外,村民生活作息周期与昼夜节律也导致水质在一天内的巨大变化。本研究拟通过对典型沟渠设置不同取样断面,进行昼夜的连续取样监测分析,以揭示农田生产/农村生活以及昼夜节律对水质的影响,为全面了解农业生产和农村生活单元面源污染发生特征提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域介绍

选择大理市大理镇“官庄-呈庄”沿线农田-村庄

沟渠为对象(图1),该沟渠经由214国道-大丽路-沿线农田和村庄后注入洱海,该区域属于低纬高原中亚热带西南季风气候类型,年均降水量约908.8 mm,丰水期降水量占全年85%~96%<sup>[7-8]</sup>,枯水期沟渠时常断流。研究区域沟渠水源为苍山自然流水,经上游村庄和农田汇集在取样断面1,断面1至断面6沟渠总长约为2.72 km,沟渠宽度在0.25~0.75 m之间,沟渠功能为灌排一体,沿程农田地表径流汇集进入沟渠,无其他支流沟渠汇入。沟渠构造通常有自然植被生长的生态沟渠和混凝土沟渠两类。村庄段均为混凝土沟渠,如断面2到断面3沟渠宽0.50 m×深0.30 m,底泥约1~2 cm;断面4到断面5沟渠宽0.85 m×深0.40 m,底泥约3~10 cm。村庄虽然实施了生活污水管网化收集系统改造,但仍存在收集不完全现象。农田段断面1到断面2与断面3到断面4同为生态沟渠,沟渠宽×深分别为0.4 m×0.2 m和0.35 m×0.1 m,沟渠植被都以当地常见优势植物水芹 [*Oenanthe javanica* (Blume) DC]、水芒稗 (*Echinochloa caudata* Roshev.) 和水蓼 (*Polygonum hydropiper* L.) 等为主。研究区域农田以大葱、茄子和青笋等一年生蔬菜作物为主,取样期间作物多处于营养生长期或结果初期,此时期需肥量较大,平均7~10 d以复合肥追施1次,追施方式主要为穴施和表施,每次追施112~150 kg N·hm<sup>-2</sup>。两段沟渠区域汇水面积分别为15.56 hm<sup>2</sup>和8.48 hm<sup>2</sup>,坡度分别为2.1°和1.3°;农田段断面5到断面6为混凝土沟渠,渠宽0.45 m×深0.75 m,底泥深度小于0.50

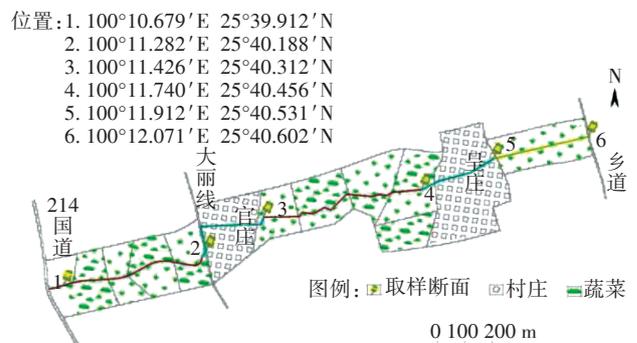


图1 研究区域和取样位点布置图

Figure 1 Study area and sampling site layout

cm,周边农田以种植大葱、豆角和青笋等蔬菜作物为主,汇水面积约0.72 hm<sup>2</sup>,坡度约为0.97°。

## 1.2 样品采集

2018年6月21—23日进行连续采样,以沟渠流经的生产生活单元划分为5个单元和6个采样监测断面,分别作为农田和村庄的入水和出水。采样时间为6:00—22:00,每隔2 h采样1次,22:00到次日6:00每隔4 h采样1次,每个断面采样时间控制在±10 min内。取样时使用经pH<2的硫酸浸泡并清洗的250 mL聚乙烯塑料瓶收集水深1/2处水样,所采集样品在4℃冰箱低温保存,24 h内送回实验室测定。

## 1.3 样品分析方法

水样中总氮(TN)采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,铵态氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)采用纳氏试剂比色法,硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)采用酚二磺酸分光光度法,总磷(TP)采用钼酸铵分光光度法,可溶性总磷(DP)采用0.45 μm微孔滤膜过滤预处理,测定方法同总磷,颗粒态磷(PP)通过TP与DP计算而来,COD采用酸性法重铬酸盐指数法。以上指标均选用国标测试方法<sup>[9]</sup>。

## 1.4 数据处理

数据均以平均值±标准误差表示,采用SPASS 22软件进行ANOVA方差显著性分析和LSD检验,采用Excel制图。图1至图4中每个数值为2 d所有水样(*n* =20)测试平均值,图5至图7中每个数值为2 d中相同时段数据的平均值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同生产生活单元沟渠断面水质特征

#### 2.1.1 水质氮素浓度变化特征

不同生产生活单元沟渠断面氮素形态和浓度变化特征见图2。沟渠水质TN、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度变化特征相似,呈现出先快速增加,在断面4浓度达到最大,随后相对稳定或略有降低。TN、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度最大值和最小值均分别出现在断面4和断面1。以断面4为分界点,前3个断面TN浓度分别比前段增加47.45%、57.36%和16.44%。同TN相似,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度分别比前段增加71.66%、41.75%和19.97%。农田段NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度增加与周边大面积的大葱、茄子等蔬菜种植有关,该季节丰富的降水将农田大量未利用化肥冲刷经地表或淋溶侧渗进入沟渠<sup>[10]</sup>;生活段沟渠水质TN和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度升高,主要由于村污水管网未能完全收集所有污水,现场调查也发现部分污水管道存在“跑冒滴漏”现

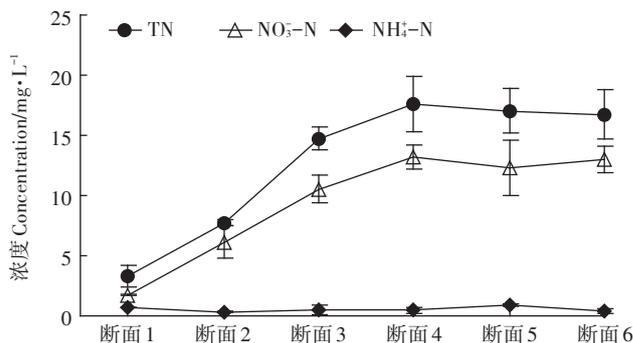


图2 不同生产生活单元沟渠断面氮素浓度

Figure 2 N concentrations from ditch water

象。所有取样断面NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度变化比TN和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N平稳,浓度范围在0.34~0.90 mg·L<sup>-1</sup>之间。另外,沟渠水质NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度呈现出田后降低,出村后增加的特征。一方面可能因为沟渠中水芒稗和水蓼等植物通过网状根系对沟渠中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N有吸收和硝化作用<sup>[11-12]</sup>,以及混凝土沟渠粗糙内壁和沟中碎石块相应的吸附-解吸作用<sup>[13]</sup>,这与王岩等<sup>[14]</sup>的研究结果一致。另一方面,由于村庄内高含NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N废水直排入沟,造成沟渠NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度的升高。沟渠出田段水样(断面2、断面4、断面6)NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度分别比入田平均降低2.08%、53.42%和55.56%,沟渠出村段水样(断面3、断面5)NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度分别比入村水样平均增加了29.17%和37.78%。

#### 2.1.2 水质磷素浓度变化特征

不同生产生活单元沟渠断面磷素形态和浓度变化特征见图3。沟渠水质TP和DP浓度变化特征相似,断面1水质浓度最小,且浓度逐渐积累增加,在断面6水质浓度达到最大。各断面TP浓度增长范围在3.12%~45.45%之间,以断面3为分界点,前2个断面TP浓度增幅最大。DP浓度相对于TP变化幅度相对较平缓,各断面DP浓度增长率在3.23%~83.33%之

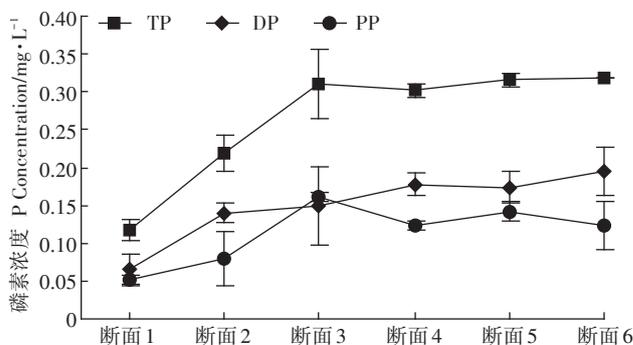


图3 不同生产生活单元沟渠断面磷素浓度

Figure 3 P concentrations from ditch water

间。上述结果说明农田沟渠径流中磷含量趋势变化与农村生活污水排放、农作物种植和农田化肥施用量有直接的关系。因研究区以蔬菜为主要农作物,且较高蔬菜复种指数、大量化肥及农家肥施用,氮磷污染物在雨季大量被雨水冲刷进入沟渠,使得浓度升高造成水体污染<sup>[15]</sup>,也有研究证实蔬菜氮磷流失比一般旱作耕地要高<sup>[16-17]</sup>。PP相对于TP和DP呈现先增加后减少的规律,在断面3处达到最大浓度,PP浓度范围在0.05~0.16 mg·L<sup>-1</sup>之间。断面2到断面3和断面4到断面5出村段PP浓度分别增加50.00%和14.29%。断面3到断面4和断面5到断面6所处沟渠出田段PP浓度分别降低25.00%和14.29%。农田自然生态沟渠在一定程度上可以被认为是湿地形态的一种<sup>[18-19]</sup>,农田生态沟中以水芒稗和水蓼等湿地植物生长为主,这些植物对水质中PP起到一定拦截作用<sup>[20]</sup>。水质中PP和DP浓度共同作用决定了TP浓度的变化,6个断面PP和DP占TP的范围分别为36.36%~51.61%和48.39%~63.64%。

### 2.1.3 水质COD浓度变化特征

不同生产生活单元沟渠断面COD浓度变化特征见图4。沟渠水质COD浓度范围在30.74~85.51 mg·L<sup>-1</sup>之间,最小值和最大值分别在断面2和断面3。出田水质COD浓度降低,出村浓度增加。出田水质COD浓度比入田COD浓度降低了23.65%~38.19%,最大削减率出现在断面5到断面6,因为混凝土沟渠宽度较大、水流速度较小,流通用时较长,沟渠壁较为粗糙,沟渠中存在较多碎石,沟渠壁和碎石表面附着微生物,使得对COD起到一定削减作用,降低水体中COD浓度<sup>[21]</sup>。沟渠经村段对水质COD浓度贡献较大,比入村COD浓度增加24.70%~178.17%,最大增加率出现在断面2到断面3。

## 2.2 生活作息周期与昼夜节律沟渠断面水质动态特征

### 2.2.1 水质氮素浓度动态变化特征

作息周期和昼夜节律沟渠断面氮素浓度动态特征见图5。全天各时段沟渠断面水质TN和NO<sub>3</sub>-N浓度在断面1到断面4之间逐渐增加,断面5到断面6变化不明显甚至略有降低。各断面从早晨6:00到凌晨2:00水质TN和NO<sub>3</sub>-N浓度总体呈降低趋势,可能因丰水期当地村民早起农作,早餐和炊事时间提前,农事操作也主要集中在上午时段,下午随气温升高紫外线增强,农事活动减弱。此外,部分断面在生活节律作用下氮素浓度呈现增加趋势,如断面3的NO<sub>3</sub>-N浓度在12:00和接近8:00,因为午餐和晚餐而出现突然

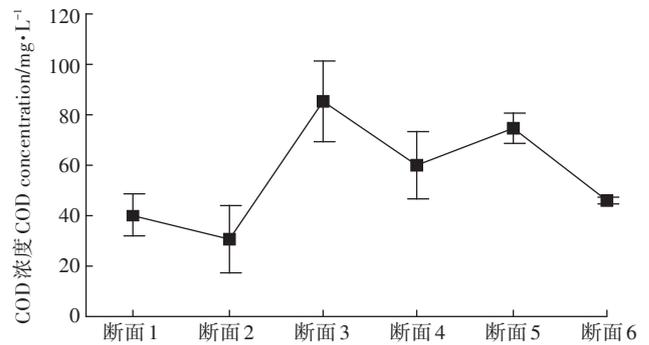


图4 不同生产生活单元沟渠断面COD浓度

Figure 4 COD concentrations from ditch water

升高。断面2水质TN浓度与断面1浓度差与两个断面NO<sub>3</sub>-N浓度差接近,表明断面1和断面2之间的农田是NO<sub>3</sub>-N的重要来源,同时NO<sub>3</sub>-N的浓度变化也决定了TN浓度。同理,断面2和断面3之间的村庄也是NO<sub>3</sub>-N的重要来源。同时也发现断面1和断面2之间的农田对NO<sub>3</sub>-N或TN浓度贡献大于断面3和断面4之间的农田;断面2和断面3之间的村庄对NO<sub>3</sub>-N或TN浓度贡献大于断面4和断面5之间的村庄。这个现象可能与地势坡度有关,断面1到断面3之间临近苍山脚,断面3到断面5临近洱海边,因而断面1到断面3之间坡度更大,更加有利于NO<sub>3</sub>-N径流或冲刷流失<sup>[22]</sup>。NH<sub>4</sub>-N浓度总体较低,但呈现出出田消减与出村增加的趋势<sup>[23]</sup>。

### 2.2.2 水质磷素浓度动态变化特征

作息周期和昼夜节律沟渠断面磷素浓度动态特征见图5。沟渠6个采样断面中TP、DP和PP浓度昼夜变化幅度总体较小,不同断面浓度均在0.1 mg·L<sup>-1</sup>范围内变动。不同断面间昼夜节律沟渠水质TP浓度相比,断面2和断面3变化较大,断面2水质TP浓度与断面1浓度差较大,表明断面1和断面2之间的农田是水质TP的重要来源,同理断面2和断面3之间的农田是水质TP的重要来源,同时DP和PP浓度及不同断面变化趋势接近,对TP的贡献相当。总体来看,水质磷素浓度随作息周期和昼夜节律变化不如氮素明显,且全天浓度较低,可能与磷素比氮素更容易固定有关<sup>[24]</sup>。此外,断面3夜晚20:00 DP和PP浓度高峰可能主要是由洗漱造成的,这也是导致此时段TP浓度高峰的原因。

### 2.2.3 水质COD浓度动态变化特征

作息周期和昼夜节律沟渠断面COD浓度动态特征见图6。总体发现断面1和断面2之间的农田以及断面3和断面4之间农田均对COD有一定消减作用,

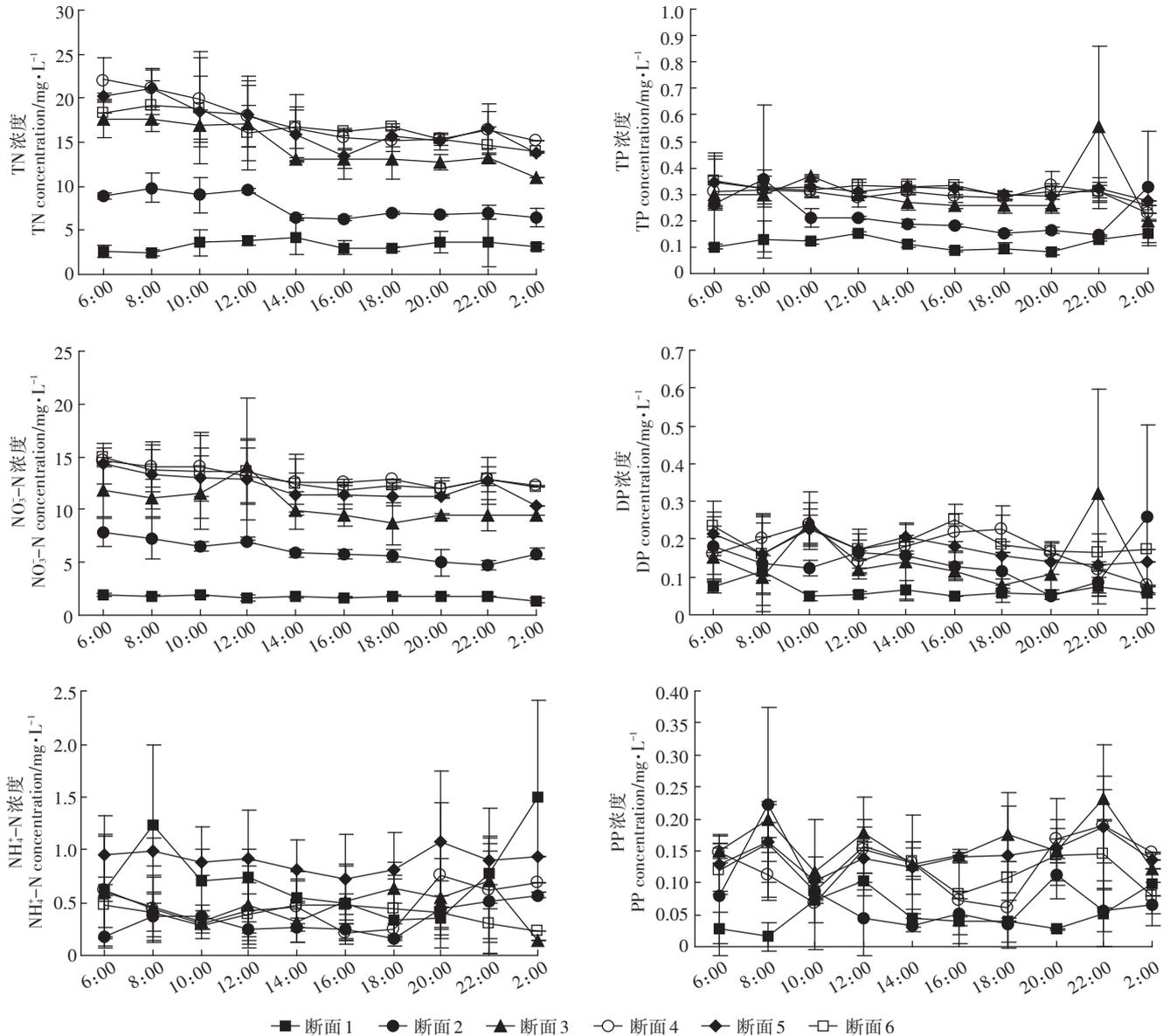


图5 作息周期和昼夜节律沟渠断面氮素和磷素浓度

Figure 5 Nitrogen and phosphorus concentrations from different section points

断面3和断面4之间农田去除作用更加明显,表明农田具有一定去除COD的能力,可能主要通过生物沟渠根系过滤拦截与底泥沉淀消减<sup>[25-26]</sup>。断面2和断面3之间的村落以及断面4和断面5之间村落均对COD有一定增加作用,断面2和断面3之间村落增加作用更加明显,通过断面3和断面5可知村落白天COD浓度高峰基本出现在6:00—10:00之间,表明早晨为白天生活废水排放高峰期,在断面5中夜晚20:00后出现浓度升高,可能与睡前洗漱有关,且村落污水收集管网可能存在收水不完全的情况,使部分污水排放到沟渠中,并且断面2和断面3之间村落收水系统较断

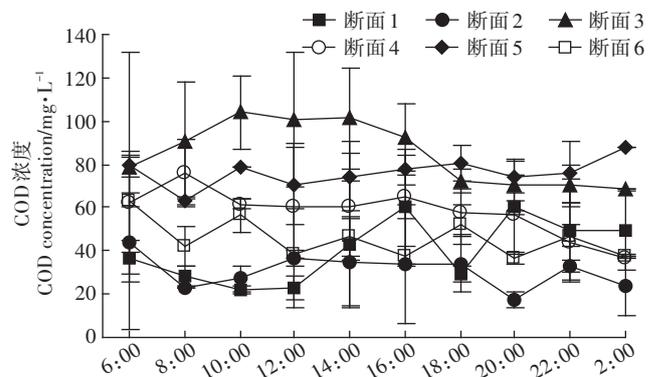


图6 作息周期和昼夜节律沟渠断面COD浓度

Figure 6 COD concentrations from different section points

面4和断面5之间村落更差。

### 3 结论

(1)沿水流方向沟渠断面水质TN、NO<sub>3</sub>-N、TP、DP浓度先增加后相对稳定。TN、NO<sub>3</sub>-N、TP浓度在出田和出村的前两个断面增加值最为显著。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、COD浓度呈现出田后浓度降低和出村后浓度增加的特征。不同村落因收水管道效果以及农田管理方式不同而对水质影响贡献差异较大。沟渠水质TN和NO<sub>3</sub>-N浓度受村民作息周期和生活节律影响较大,磷素昼夜变化幅度总体较小。

(2)沟渠水质受取样断面和采样时间影响较大,受农田生产和农村生活共同影响的区域应尽力增加取样位点和提高取样频率以提高水样代表性。洱海流域农田沟渠设置为自然生态沟渠能够更加有利于污染物去除,农村生活污水收集管道应该进一步完善,提高收水效率,减少生活污染排放。

#### 参考文献:

- [1]李文章,张莉,王圣瑞,等.洱海沉积物水提取态有机氮特征及与其他来源溶解性有机氮的差异[J].环境科学,2017,38(7):2801-2809.  
LI Wen-zhang, ZHANG Li, WANG Sheng-rui, et al. Characteristics of water extractable organic nitrogen from Erhai Lake sediment and its differences with other sources[J]. *Environmental Science*, 2017, 38(7): 2801-2809.
- [2]陈小华.富营养化初期湖泊(洱海)的环境演变及营养物基准/标准研究[D].上海:华东师范大学,2015.  
CHEN Xiao-hua. Study on the recent 20-year eutrophication process and development of nutrient criteria/standards of Lake Erhai at its initial stage of eutrophication[D]. Shanghai: East China Normal University, 2015.
- [3]杨曙辉,宋天庆.洱海湖滨区的农业面源污染问题及对策[J].农业现代化研究,2006(6):428-431,438.  
YANG Shu-hui, SONG Tian-qing. Problems of pollution derived from agriculture in Erhai Lake district and countermeasures[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2006(6):428-431,438.
- [4]程磊磊,尹昌斌,胡万里,等.云南省洱海北部地区农田面源污染现状及控制的补偿政策[J].农业现代化研究,2010,31(4):471-474.  
CHENG Lei-lei, YIN Chang-bin, HU Wan-li, et al. Subsidy policy for agricultural non-point pollution control in northern area of Erhai Lake of Yunnan Province[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2010, 31(4):471-474.
- [5]李凤香.洱海面源污染治理现状及对策[J].环境科学导刊,2008(增刊):82-84.  
LI Feng-xiang. Present situation of treatment of non-point source pollution and counter measures in Erhai Lake[J]. *Environmental Science Survey*, 2008(Suppl):82-84.
- [6]何宗健,蔡静静,倪兆奎,等.洱海不同途径氮来源季节性特征及对水体氮贡献[J].环境科学学报,2018,38(5):1939-1948.  
HE Zong-jian, CAI Jing-jing, NI Zhao-kui, et al. Seasonal characteristics of nitrogen sources from different ways and its contribution to water nitrogen in Lake Erhai[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2018, 38(5): 1939-1948.
- [7]黄慧君,王永平,李庆红.洱海流域近50年气候变化特征及其对洱海水资源的影响[J].气象,2013,39(4):436-442.  
HUANG Hui-jun, WANG Yong-ping, LI Qing-hong. Climatic characteristics over Erhai Lake basin in the late 50 years and the impacts on water resources of Erhai Lake[J]. *Meteorological monthly*, 2013, 39(4): 436-442.
- [8]姚金玲,张克强,郭海刚,等.不同施肥方式下洱海流域水稻-大蒜轮作体系氮磷径流损失研究[J].农业环境科学学报,2017,36(11):2287-2296.  
YAO Jin-ling, ZHANG Ke-qiang, GUO Hai-gang, et al. Nitrogen and phosphorus runoff losses during rice-garlic rotation in Erhai Lake basin under different fertilization methods[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(11):2287-2296.
- [9]国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].四版.北京:中国环境科学出版社,2002:701-705.  
State Environmental Protection Administration. Methods for monitoring and analysis of water and wastewater[M]. 4th Edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002:701-705.
- [10]单立楠,丁能飞,王洪才,等.蔬菜地面源污染生态拦截系统与效果[J].农业工程学报,2013,29(20):168-178.  
SHAN Li-nan, DING Neng-fei, WANG Hong-cai, et al. Effect of ecological interception system in reducing non-point source pollution from vegetable fields[J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(20): 168-178.
- [11]Tyler H L, Moore M T, Locke M A. Influence of three aquatic macrophytes on mitigation of nitrogen species from agricultural runoff[J]. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2012, 223(6):3227-3236.
- [12]Yang S H, Xu J Z, Zhang J G, et al. Reduction of non-point source pollution from paddy fields through controlled drainage in an aquatic vegetable wetland-ecological ditch system[J]. *Irrigation and Drainage*, 2016, 65(5):734-740.
- [13]王岩,王建国,李伟,等.生态沟渠对农田排水中氮磷的去除机理初探[J].生态与农村环境学报,2010,26(6):586-590.  
WANG Yan, WANG Jian-guo, LI Wei, et al. Initial exploration of mechanism of ecological ditch intercepting nitrogen and phosphorus in drainage from farm land[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2010, 26(6):586-590.
- [14]王岩,王建国,李伟,等.三种类型农田排水沟渠氮磷拦截效果比较[J].土壤,2009,41(6):902-906.  
WANG Yan, WANG Jian-guo, LI Wei, et al. Comparison on removal of nitrogen and phosphorus from hibernial farmland drainage by three kinds of ditches[J]. *Soils*, 2009, 41(6):902-906.
- [15]Dodd R J, McDowell R W, Condon L M. Is tillage an effective method to decrease phosphorus loss from phosphorus enriched pastoral soils?[J]. *Soil and Tillage Research*, 2014, 135:1-8.

- [16] 单立楠. 不同施肥模式下菜地氮素面源污染特征及生态拦截控制研究[D]. 杭州:浙江大学, 2015.  
SHAN Li-nan. Nitrogen non-point source pollution of vegetable field under different fertilizer treatments and its ecological intercept control [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [17] 寇永珍, 林陶, 夏品华. 贵州草海湿地农田沟渠水质污染特征及其治理研究[J]. 广东农业科学, 2015, 42(14):120-125.  
KOU Yong-zhen, LIN Tao, XIA Pin-hua. Pollution characteristics and treatment of water in farmland ditch of Caohai Wetland, Guizhou Province[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 42(14):120-125.
- [18] Cooper C M, Moore M T, Bennett E R, et al. Innovative uses of vegetated drainage ditches for reducing agricultural runoff[J]. *Water Science and Technology*, 2004, 49(3):117-123.
- [19] 王迪, 李红芳, 刘锋, 等. 亚热带农区生态沟渠对农业径流中氮素迁移拦截效应研究[J]. 环境科学, 2016, 37(5):1717-1723.  
WANG Di, LI Hong-fang, LIU Feng, et al. Interception effect of ecological ditch on nitrogen transport in agricultural runoff in Subtropical China[J]. *Environmental Science*, 2016, 37(5):1717-1723.
- [20] 张树楠, 肖润林, 刘锋, 等. 生态沟渠对氮、磷污染物的拦截效应[J]. 环境科学, 2015, 36(12):4516-4522.  
ZHANG Shu-nan, XIAO Run-lin, LIU Feng, et al. Interception effect of vegetated drainage ditch on nitrogen and phosphorus from drainage ditches[J]. *Environmental Science*, 2015, 36(12):4516-4522.
- [21] 邹建勇, 方芳, 郭劲松, 等. 石宝镇自然排水沟渠对生活污水的净化效果及其改造强化方案探讨[J]. 三峡环境与生态, 2009, 2(3):9-12, 19.  
ZOU Jian-yong, FANG Fang, GUO Jin-song, et al. The purification and optimize design about upland natural ditch with urban wastewater in Shibao Town[J]. *Environment and Ecology in the Three Gorges*, 2009, 2(3):9-12, 19.
- [22] Wang T, Zhu B. Nitrate loss via overland flow and interflow from a sloped farmland in the hilly area of purple soil, China[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2011, 90(3):309-319.
- [23] 陆海燕, 胡正义, 逢玉万, 等. 城郊居民农田混合区田间沟渠水质空间变异特征研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3):16-19, 24.  
LU Hai-yan, HU Zheng-yi, PANG Yu-wan, et al. Spatial variability of field ditches water quality in the mixed area of suburban residents and farmland[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(3):16-19, 24.
- [24] Girmay G, Singh B R, Nyssen J, et al. Runoff and sediment-associated nutrient losses under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia[J]. *Journal of Hydrology*, 2009, 376(1/2):70-80.
- [25] 吴华山, 赵慧, 黄红英, 等. 不同季节生态沟渠净化养殖废水能力对比研究[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(3):245-250.  
WU Hua-shan, ZHAO Hui, HUANG Hong-ying, et al. Abilities of ecological ditch to purify livestock wastewater in different seasons[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(3):245-250.
- [26] Luo Z X, Zhu B, Tang J L, et al. Phosphorus retention capacity of agricultural headwater ditch sediments under alkaline condition in purple soils area, China[J]. *Ecological Engineering*, 2009, 35(1):57-64.
- [27] Shinohara R, Ouellette L, Nowell P, et al. The composition of particulate phosphorus: A case study of the Grand River, Canada[J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2018, 44(3):527-534.
- [28] Wu Y, Chen J. Simulation of nitrogen and phosphorus loads in the Dongjiang River basin in South China using SWAT[J]. *Frontiers of Earth Science in China*, 2009, 3(3):273-278.