

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.02.020

稻田排水在沟塘湿地净化中总氮浓度的周期性特征

高焕芝¹ 彭世彰¹ 孙 勇² 缴锡云¹

(1.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 江苏 南京 210098 ;

2.江苏省高邮市高邮灌区管理处 江苏 高邮 225600)

摘要 :基于高邮灌区水稻全生育期排水沟塘湿地水体中总氮质量浓度日变化资料,采用复 Morlet 小波函数,对沟塘湿地水体总氮质量浓度变化周期进行了分析.结果表明,沟塘湿地水体总氮质量浓度变化存在 5 个时间尺度的周期震荡,以 23 d 为主周期,每 6~7 d 质量浓度高低交替一次.因此,在满足稻田排水调控要求的前提下,TN 质量浓度较高的稻田排水入沟塘后,净化周期以 7~13 d 或 19~25 d 为宜.经此段时间净化,水中 TN 质量浓度平均降低 30%~58%和 28%~66%,最大消减率分别达 79%和 93%;TN 质量浓度较低时,沟塘湿地净化时间以 13~19 d 为佳,TN 质量浓度平均降低 14%~72%,最高降幅 87%.选择在该净化周期内对沟塘湿地进行排水,水中 TN 质量浓度处于较低水平,排水对下游水体造成的污染最轻.

关键词 :稻田 排水 沟塘 湿地 总氮 周期变化 小波分析

中图分类号 :S276 **文献标识码 :**A **文章编号 :**1000-1980(2010)02-0220-05

农田排水造成的面源污染是水环境不断恶化的重要原因之一.排水沟塘作为农田与外河水系连接的通道,既是农田排水最初的汇聚地,又是农田污染物向下游水体排放的输出地,发挥着“汇”和“源”的双重作用,因此,研究农田面源污染控制应重视排水沟塘的作用.现有研究表明,沟塘湿地对氮磷污染物及农药均具有很强的去除能力^[1-2],并能截留降雨径流^[3],有效控制农田面源污染物的输出.净化周期是影响湿地对污染物去除效果的关键因子.Maurizio 等^[4]研究表明,农田排水在湿地净化 7 d 以上,氮素的去除率达 90%左右. Moreno-Mateos 等^[5]研究了不同面积、不同水力停留时间情况下,人工湿地对农田排水氮素的去除情况,结果表明,湿地面积越大,净化周期越长,对氮素去除效果越好.但是,承泄稻田排水的沟塘容积有限,在接收来水的同时还需不断向下游排水,稻田排水的发生又具有不确定性,因此,在满足稻田排水要求的前提下,稻田排水在沟塘湿地的净化周期成为一个新的问题.本文从稻田排水在湿地净化过程中水体总氮质量浓度的时间变化特征入手,借助小波分析方法,研究沟塘湿地水体总氮质量浓度的变化周期,以确定满足最佳净化效果要求的湿地排水运行周期,为合理利用沟塘湿地、控制稻田面源污染提供基础数据.

1 分析与数据资料

小波分析是一种信号的时间-尺度(频率)分析方法,既具有多分辨率分析的特点,在时域、频域都具有表征信号局部特征的能力,可以对信号进行多尺度细化分析,得到各个频率随时间的变化及不同频率之间的关系,又具有数学意义上严格的突变点诊断能力,被广泛应用于水温、变形、数据孤立点、降水等方面的研究^[6-12].稻田排水进入湿地后,水体在净化过程中,氮素质量浓度在入流(不确定来水时间、质量浓度和水量)、入塘、降雨等多种因素的影响下,随时间高低变化不定.本文尝试用小波分析方法来辨识沟塘湿地水体氮素质量浓度的变化特征.

1.1 小波分析方法

小波函数定义为^[8-12]:设 $\varphi(t)$ 为一平方可积函数,即 $\varphi(t) \in L^2(R)$,若其傅立叶变换 $\varphi(\omega)$ 满足容许

收稿日期:2009-11-13

基金项目:国家自然科学基金(50839002-5);“十一五”国家科技支撑计划(2006BAD11B09-3);全国优秀博士学位论文作者专项基金(200546)

作者简介:高焕芝(1980—),女,山东聊城人,博士研究生,主要从事节水灌溉与农田面源污染研究. E-mail:gaohuanzhi@hhu.edu.cn

条件

$$C_{\varphi}=\int_R\frac{|\varphi(\omega)|^2}{\omega}d\omega<\infty \tag{1}$$

则 $\varphi(t)$ 称为一个基本小波或小波母函数,连续小波为

$$\varphi_{a,b}(t)=\frac{1}{\sqrt{a}}\varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (a,b\in R,a>0) \tag{2}$$

对于任意函数 $f(t)\in L^2(R)$ 的连续小波变换为

$$Wf(a,b)=f(t),\varphi_{a,b}(t)=\frac{1}{\sqrt{a}}\int_Rf(t)\varphi\left(\frac{t-b}{a}\right)dt \tag{3}$$

式中: a ——尺度因子; b ——平移因子; $Wf(a,b)$ ——小波系数.

本文根据沟塘湿地水体总氮质量浓度时间序列的变化特征,选择常用的复 Morlet 小波^[10-11],其母函数为

$$\varphi(t)=e^{ict}e^{-t^2/2} \tag{4}$$

式中: c ——常数; i ——虚数单位.式(4)是由 1 个周期函数经过 Gaussian 函数平滑而得到的,所以它的伸缩尺度 a 与 Fourier 分析中周期 T 的关系为

$$T=\frac{4\pi a}{c+\sqrt{2+c^2}} \tag{5}$$

式中 c 为常数,通常取 $c=6.2$ 时,周期 T 可以近似地用 a 来代替.

复数小波系数的实部可表示不同特征时间尺度信号在不同时间的强弱和位相两方面的信息.小波方差则反映了波动的能量随尺度 a 的分布,对应峰值处的尺度称为该序列的主要时间尺度,即主要周期.

小波方差的计算公式为

$$V_a(a)=\int_{-\infty}^{+\infty}|Wf(a,b)|^2db \tag{6}$$

式中 $V_a(a)$ 为小波方差.复 Morlet 小波函数的 $|Wf(a,b)|^2$ 为小波系数模的平方.

本文通过对沟塘湿地水体总氮质量浓度数据进行连续小波变换,利用小波方差与小波系数的实部,确定其变化周期.

1.2 数据资料

本文选取江苏省高邮灌区周庄示范区(119°32'52"E,32°45'10"N)某沟塘湿地 2007 年 6~10 月水稻生长期间水体 TN 质量浓度数据.该沟塘主要承泄稻田排水,长约 300 m,宽约 10 m,总面积 3 000 m²,占所控制稻田面积的 1.62%.对沟塘进行了改造及生态构建,出口建有溢流坝,蓄积区域稻田排水,延长其在沟塘的滞留时间,利用沟塘纳污、清污能力净化稻田排水.除水稻分蘖末期晒田期外,其他时间沟塘水深保持在 1.5~2.3 m,整段沟塘蓄水量 4 000~6 000 m³.监测稻田排水进入沟塘后,水体 TN 质量浓度逐日变化,用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法分析^[13].为反映水质变化的总趋势,分别对返青期(6 月 16~22 日)、分蘖期(6 月 23 日~7 月 20 日)、拔节孕穗期(7 月 21 日~8 月 19 日)、抽穗开花期(8 月 20~27 日)及灌浆乳熟期(8 月 28 日~9 月 23 日)沟塘湿地水体逐日 TN 质量浓度序列进行直线拟合,拟合直线斜率的 10 倍为水质趋向率,代表每个生育阶段水质质量浓度的变化特征.

2 结果与分析

2.1 沟塘湿地水体中总氮质量浓度的变化趋势与特征

沟塘湿地水体总氮质量浓度主要由稻田施肥、排水状况及沟塘自身净化能力决定.根据水稻典型生育阶段沟塘湿地水体总氮质量浓度的变化情况(图 1),整个水稻生育期沟塘湿地水体中总氮质量浓度呈先升后降的趋势.水稻分蘖期沟塘湿地水体中总氮质量浓度较高,在 2~9 mg/L 之间,总体呈上升趋势,这主要因为该时间段稻田施用了大量基肥、蘖肥,排水发生频繁且排水中总氮质量浓度较高,沟塘湿地内水生植物植株幼小,吸收氮磷能力相对较弱,以底泥、微生物等净化为主.从水稻拔节孕穗期开始至灌浆乳熟期,沟塘湿地水体中总氮质量浓度在波动中呈下降趋势,峰值质量浓度降为 4.2 mg/L.该期稻田追施少量穗肥、粒肥,排水不及生育初期频繁,沟塘湿地内水生植物生长旺盛,联合底泥、微生物等对氮磷进行吸收,使得总氮质量浓度

最终保持在 0.7 mg/L 以下,可见随着水稻生育进程的推进,沟塘湿地水体的总氮质量浓度峰谷变化总体呈减弱趋势。

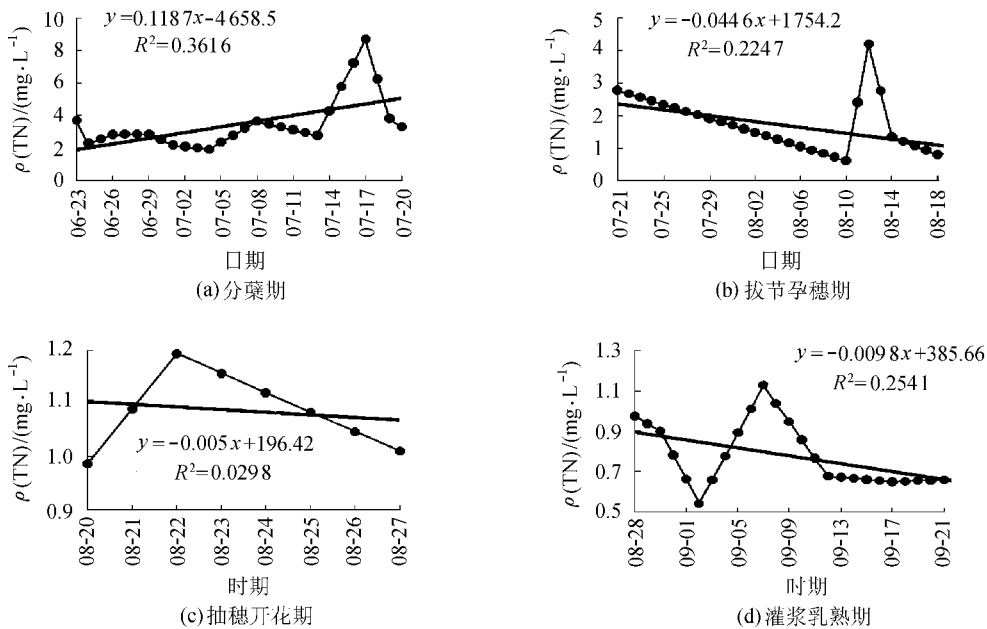


图 1 水稻各生育期沟塘湿地水体中总氮质量浓度变化趋势

Fig. 1 Variation tendency of total Nitrogen concentration in pond wetland during child-bearing period of rice

2.2 稻田排水进入沟塘湿地后水体中总氮质量浓度的时间变化周期小波分析

采用复 Morlet 小波对沟塘湿地水体逐日 TN 质量浓度数据进行连续小波变换,得到小波变换系数的实部及日均总氮质量浓度变化距平序列的小波方差,绘制日均总氮质量浓度小波方差图(图 2)及小波变换系数实部等值线图(图 3)。图 2 中峰值对应沟塘湿地水体 TN 质量浓度变化的主要周期;图 3 则直观显示总氮质量浓度随时间的变化,图中实线表示总氮质量浓度偏高,虚线表示总氮质量浓度偏低,0 值对应突变点。

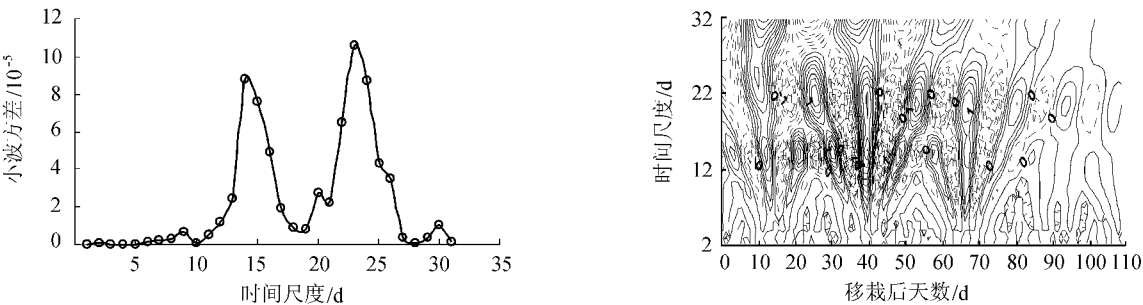


图 2 沟塘湿地日均总氮质量浓度距平序列小波方差分析

图 3 沟塘湿地日均总氮质量浓度距平序列小波变换等值线图

Fig. 2 Variance analysis of wavelet of daily total Nitrogen concentration in pond wetland

Fig. 3 Contours of wavelet transform of daily total Nitrogen concentration in pond wetland

2.2.1 小波方差分析

从图 2 可以看出,小波方差共有 5 个峰值,分别对应 9 d、14 d、20 d、23 d 和 30 d 的时间尺度,表明沟塘湿地水体总氮质量浓度变化存在 5 个明显周期。第 1 峰值是 23 d 尺度对应的小波方差,说明 23 d 左右的周期震荡最强,为水体日均总氮质量浓度变化的第 1 主周期;第 2 峰值为 14 d 尺度对应处,说明 14 d 为水体日均总氮质量浓度变化的第 2 周期;第 3~5 周期依次为 20 d、30 d 和 9 d。

2.2.2 小波变换实部分析

从图 3 可看出,在 5 个时间尺度上,沟塘湿地水体总氮质量浓度呈现高低交替变化。第 1 主周期 23 d 尺度的周期变化在水稻生育期的前 95 d 表现明显,沟塘湿地水体总氮质量浓度表现为“低—高—低—高—低—高—低—高—低—高—低—高—低—高”的 14 个循环交替,每 6~7 d 变化一次。第 2 周期 14 d 尺度的周期变化存在于水稻生育期的前 75 d 内,沟塘湿地水体总氮质量浓度变化表现为 8 个偏低期和 9 个偏高期,每 4~

5 d 变化一次.第 3 周期 20 d 尺度与第 1 主周期质量浓度高低变化同步.第 4 周期 30 d 尺度的变化较为缓慢,共有“低—高—低—高—低—高—低—高”8 个循环交替,而第 5 周期 9 d 尺度的变化则更为频繁.总体来看,沟塘湿地水体总氮质量浓度变化以 23 d 为主周期,高低质量浓度 6~7 d 更换一次,同时在其他时间尺度存在不同节奏的变化.

2.2.3 讨论

由以上小波方差和小波实部变换分析结果可知,小波分析方法能够辨识湿地总氮质量浓度的时间变化特征.从一个稻季总氮试验数据来看,沟塘湿地水体总氮质量浓度表现出了以 23 d 为主周期,14 d、20 d、30 d 和 9 d 为副周期 5 类时间尺度的明显周期变化,呈现高低循环交替现象,以 6~7 d 变化一次为主.总氮质量浓度变化周期与施肥间隔并不相同,但高低交替与稻田灌水间隔(6~7 d)一致,一般灌水后会有跑马水即稻田排水产生,说明湿地水体总氮质量浓度主要受稻田排水影响.因此,在满足稻田排水调控要求的前提下,为尽可能降低稻田排水对下游水体造成的污染,应选择湿地总氮质量浓度处于较低水平的时期排水.施肥后短期内稻田排水时,排水中 TN 质量浓度较高.在湿地中滞蓄时间短以 7~13 d 为宜,总氮的消减率平均为 30%~58%,最大消减率达 79%,长则以 19~25 d 为宜,总氮质量浓度平均降低 28%~66%,最高降幅达 93%,净化时间延长,平均消减率略有提高,最大消减率提高明显.当较低 TN 质量浓度的稻田排水进入沟塘后,净化时间控制在 13~19 d 为宜,总氮质量浓度平均降低 14%~72%,最高降幅达 87%.

3 结 论

- a. 水稻分蘖期沟塘湿地水体的总氮质量浓度峰谷变化大,其后各生育阶段变化减弱.
- b. 沟塘湿地水体 TN 质量浓度变化在多时间尺度呈现周期性,第 1 主周期为 23 d,第 2~5 周期分别为 14 d、20 d、30 d 和 9 d.在主周期 23 d 尺度下,沟塘湿地水体总氮质量浓度每 6~7 d 高低变化一次,其他周期存在不同变化节奏.
- c. 在满足稻田排水调控要求的前提下,不同总氮质量浓度的排水,在湿地中应采用不同的净化周期.稻田排水中 TN 质量浓度较高时,水体在沟塘湿地净化时间选择 7~13 d 或者 19~25 d,水中总氮质量浓度平均降低 30%~58%或 28%~66%,最大消减率分别达 79%或 93%;TN 质量浓度较低时,净化周期宜选择 13~19 d,总氮质量浓度平均降低 14%~72%,最高降幅 87%.经该周期净化后,随湿地排水流失的总氮质量浓度处于较低水平,能减轻对下游水体造成的污染,实现稻田面源污染的原位削减.
- d. 小波分析能够识别湿地水体总氮质量浓度随时间的周期变化,湿地总氮质量浓度周期变化有待更多的试验数据进行验证.

参考文献:

[1] ABE K ,OZAKI Y. Removal of N and P from entrophic pond water by using planted bed filter ditches planted with crops and flowers[J]. Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems 2001 92 956-957.

[2] SHERYL L ,GILL F C ,SPURLOCK K S G ,et al. Vegetated ditches as a managemeng practice in irrigated alfalfa[J]. Environ Monit Assess 2008 ,144 261-267.

[3] 毛战坡,彭文启,尹澄清,等.非点源污染物在多水塘系统中的流失特征[J].农业环境科学学报,2004,23(3):530-535. (MAO Zhan-po ,PENG Wen-qi ,YIN Cheng-qing ,et al. Spatial variability of non-point source pollutants within a multi-pond system[J]. Journal of Agro-environment Science 2004 23(3) 530-535.(in Chinese))

[4] MAURIZIO B ,DAVIDE T. Five year water and Nitrogen balance for a constructed surface flow wetland treating agricultural drainage waters[J]. Science of the Total Environment 2007 380 38-47.

[5] MORENO-MATEOS D ,PEDROCCHI C ,COMIN F A. Effects of wetland construction on water quality in a semi-arid catchment degraded by intensive agricultural use[J]. Ecological Engineering 2009 ,doi :10.1016/j. ecoleng. 2009. 02. 003.

[6] WEBB B W ,WALLING D E. Long-term variability in the thermal impact of river impoundment and regulation[J]. Applied Geography , 1996 ,16(3) 211-223.

[7] 姚维科,崔保山,董世魁,等.水电工程干扰下澜沧江典型段的水温时空特征[J].环境科学学报,2006,26(6):1031-1037. (YAO Wei-ke ,CUI Bao-shan ,DONG Shi-kui ,et a1. Spatio-temporal characteristics of Lancangjiang River water temperatures along the representative reaches disturbed by hydroelectric power project[J]. Acta Scientiae Circumstantiae 2006 26(6):1031-1037.(in Chinese))

- [8] 李雪红,徐洪钟,顾冲时,等.基于小波分析和尖点突变模型的裂缝转异诊断[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(3):301-305.(LI Xue-hong,XU Hong-zhong,GU Chong-shi,et al.Abnormality diagnosis of cracks based on wavelet analysis and cusp catastrophe mode[J].Journal of Hohai University:Natural Sciences,2005,33(3):301-305.(in Chinese))
- [9] 王文圣,丁晶,向红莲.小波分析在水文学中的应用研究及展望[J].水科学进展,2002,13(4):515-520.(WANG Wen-sheng,DING Jing,XIANG Hong-lian.Application and prospect of wavelet analysis in hydrology[J].Advances in Water Science,2002,13(4):515-520.(in Chinese))
- [10] 郭文献,夏自强,王鸿翔,等.近50年来长江宜昌站水温变化的多尺度分析[J].水利学报,2008,39(11):1197-1203.(GUO Wen-xian,XIA Zi-qiang,WANG Hong-xiang,et al.Multiple-scale analysis on water temperature variation of Yichang hydrological station in recent 50 year[J].Journal of Hydraulic Engineering,2008,39(11):1197-1203.(in Chinese))
- [11] 姚棣荣,钱恺.小波变换在新安江流域近百年降水变化分析中的应用[J].科技通报,2001,17(3):17-21.(YAO Li-rong,QIAN Kai.Wavlet transforms and their application to precipitation variations in the Xinanjiang River during last one hundred year[J].Bulletin of Science and Technology,2001,17(3):17-21.(in Chinese))
- [12] 李婷婷.融合小波分析检测大坝数据仓库中数据孤立点[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(5):650-653.(LI Ting-ting.Detection of mutation data combining wavelet analysis with dam data warehouse[J].Journal of Hohai University:Natural Sciences,2008,36(5):650-653.(in Chinese))
- [13] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.

Periodic variation of total Nitrogen concentration during decontamination course of paddy field drainage in ponds

GAO Huan-zhi¹, PENG Shi-zhang¹, SUN Yong², JIAO Xi-yun¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,
Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Administrative Office of Gaoyou Irrigation District, Gaoyou 225600, China)

Abstract: Based on the daily data of the total Nitrogen (TN) concentration in pond water in Gaoyou Irrigation District during the child-bearing period of rice, the periodic variation of the TN concentration was analyzed by use of the compound Morlet wavelet function. The results show that there are obvious periodic variations with five time scales. Under the dominant period of 23 d, the TN concentration alternates every 6 ~ 7 d between high and low concentrations. Thereby, under the prerequisite of satisfying the control requirements of paddy field drainage, after the paddy field drainage with high TN concentration enters into the ponds, the decontamination period of the ponds should be 7 ~ 13 d or 19 ~ 25 d. Under this retention, the TN concentration is decreased by 30% ~ 58% or 28% ~ 66% on average, with the maximum decrease of 79% or 93%, respectively. When the paddy field drainage with low TN concentration enters into the ponds, the decontamination period of the ponds should be 13 ~ 19 d. The TN concentration is decreased by 14% ~ 72% on average, with the maximum decrease of 87%. During this retention period, the drainage water from pond is probably in a low state of TN concentration. Accordingly, the lightest nitrogen pollution to the downstream rivers will be attained.

Key words: paddy field; drainage; pond; wetland; total Nitrogen; periodic variation; wavelet analysis