

# 崇明岛河流中氮营养盐分布特征

沈 峰<sup>1,2</sup>, 孔 玲<sup>1</sup>, 李俊鹏<sup>2</sup>, 顾敏燕<sup>1,2</sup>, 杨 龙<sup>1</sup>, 张 唯<sup>1</sup>, 王晨璐<sup>1</sup>, 张亚雷<sup>1,2</sup>

(1. 同济大学国家设施农业工程技术研究中心, 上海 200092; 2. 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

**摘要** 为研究崇明岛河流氮营养盐的分布特征及其污染迁移情况, 以不同时空条件下崇明岛河网水质数据为基础, 探讨了崇明岛水体氮营养盐的时间和空间变化特征, 并分析了岛内河流氮营养盐污染的主要原因。结果表明, 崇明岛内河流水质恶化日益严重, 不同级别河流的总氮(TN)含量在丰水期和枯水期均处于富营养化发生的风险范围, 岛内不同级别河流的氮营养盐均值在不同降水期变化显著。溶解态无机氮(DIN)是崇明岛氮营养盐的主要存在形式, 其中以硝态氮为主, 平均占到 DIN 的 50% 以上。同时, 不同空间条件下水体氮营养盐含量变化复杂, 氮营养盐的主要来源为农田径流、工业废水和生活污水。

**关键词** 氮营养盐; 时空分布; 污染源; 崇明岛

中图分类号 X524 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)18-0058-05

## Characteristics of Variation Trend of Nitrogen Nutrient in Rivers of Chongming Island

SHEN Zheng<sup>1,2</sup>, KONG Ling<sup>1</sup>, LI Jun-peng<sup>2</sup> et al (1. National Engineering Research Center of Protected Agriculture, Tongji University, Shanghai 200092; 2. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract** In order to evaluate the distribution characteristics of nitrogen nutrient of Chongming Island and its polluting situation, the characteristics of temporal and spatial variations of nitrogen nutrient as well as the main reasons of the pollution were studied based on the water quality data of Chongming Island. The results showed that the rivers were badly polluted in Chongming Island and the contents of TN in both wet and drought periods were in the danger range which might lead to eutrophication. The average contents of nitrogen nutrient in different levels of rivers at different precipitation periods varied significantly. The dissolved inorganic nitrogen (DIN) was the major composite of TN in Chongming Island.  $\text{NO}_3^-$ -N accounted for over 50% of DIN. Additionally, the contents of water nitrogen nutrient at different spatial conditions varied significantly as well. The main sources of nitrogen nutrient include agricultural runoff, industrial and domestic wastewater.

**Key words** Nitrogen; Temporal and spatial distributions; Pollution source; Chongming Island

氮是构成水体生态系统的基本要素之一, 也是浮游植物生长的必需元素, 其生物地球化学循环对植物的生长繁殖至关重要<sup>[1]</sup>。然而, 随着工农业的不断发展, 人类活动产生了大量活性氮(包括  $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{NH}_3$  等), 过量的活性氮释放到空气、水和土壤中, 引起了一连串的环境和健康问题, 已成为世界范围内面临的威胁之一<sup>[2-5]</sup>。目前, 国内对水体中氮营养盐污染现状的研究较多<sup>[6-9]</sup>。郑丙辉等<sup>[6]</sup>对三峡水库 3 条入库河流氮营养盐污染特征进行研究, 3 条入库河流中总氮含量总体偏高, 易发生水华; 陈格君等<sup>[7]</sup>研究发现, 鄱阳湖藻类生物量变化趋势与氮、磷含量变化趋势基本相同。但是这些研究多集中于内陆水体中, 对沿海地区污染水体的氮营养盐污染特征研究较少。

崇明岛是上海市 21 世纪可持续发展的重要战略空间, 有“长江门户, 东海瀛洲”之称。近年来, 随着崇明岛经济和旅游业的快速发展, 人类活动对岛内生态环境的影响日益增强, 氮的自然循环过程受到了严重破坏<sup>[10-12]</sup>。过量的营养盐随污水排放进入河流, 导致水环境中的无机和有机营养物质大量增加, 促进了浮游植物的异常繁殖, 使水域生产力遭到破坏, 水体富营养化程度呈不断加剧趋势, 严重影响了水体生态系统的平衡<sup>[13-15]</sup>。为了全面了解崇明岛水系中氮营养盐的污染情况, 笔者分析了崇明岛水体氮营养盐的时间和空间变化特征及其存在形态, 并对崇明岛水体水质恶化的原

因进行了探讨。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 崇明岛地处长江入海口处, 位于  $121^\circ 09' 30'' \sim 121^\circ 54' 00'' \text{ E}$ ,  $31^\circ 27' 00'' \sim 31^\circ 51' 15'' \text{ N}$ , 面积  $1\,225 \text{ km}^2$ , 人口 64 万, 是仅次于台湾岛、海南岛的我国第三大岛屿, 也是全世界最大的河口冲击岛, 为典型的感潮平原<sup>[16]</sup>。全岛三面环江, 一面临海, 岛内河道纵横, 有 2 条市级河道(南横引河和北横引河)贯通成为环岛运河, 长 164 km。县级河道有 29 条, 总长度约 407 km。河道生态、社会功能的发挥将直接影响崇明社会经济的可持续发展和岛内人民的生活质量。

**1.2 采样点设置方法** 由于崇明岛河网水系密布, 径流宽度、长度、深度及流速等物理指标差别巨大, 同时径流流经的土地类型并不相同, 这些因素都会影响河流的水文特征, 因此将采样点位分为 3 个区域, 即北横引河流域、南横引河流域及县级河流流域, 下文的分析讨论也按照以上 3 个区域分别进行。笔者根据降水的差异性分别选取 2010 年 7 月和 2011 年 4 月作为丰水期和枯水期的代表进行分析, 共设 30 个采样点, 其分布如图 1 所示。其中, S1 ~ S9 位于北横引河上, 该区域以水产养殖区和种植区为主; S10 ~ S20 位于南横引河上, 该区域以城镇居民区和工业区为主, 是全岛人口和产业最密集的地区; S21 ~ S29 分别位于 9 条县级河道上, 该区域以农业种植区和少量村镇为主; S30 位于瀛东村中心河道上, 该村以渔家乐旅游度假为主要经济形式, 以此反映人类活动对村镇级河道水体的影响。

**1.3 水质指标分析方法** 根据崇明岛河流监测断面水质资料及流域污水排放现状, 选取总氮(TN)、氨氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )、硝态氮( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ) 3 个代表性的水质指标。按照《水与废水监测

**基金项目** 国家自然科学基金项目(21376180, 21676205); 上海市国际科技合作基金项目(14230710800); 青浦区-同济大学科技合作项目(20143289)。

**作者简介** 沈峰(1978-), 男, 浙江奉化人, 副教授, 博士, 从事生物物质资源化研究。

**收稿日期** 2017-04-19

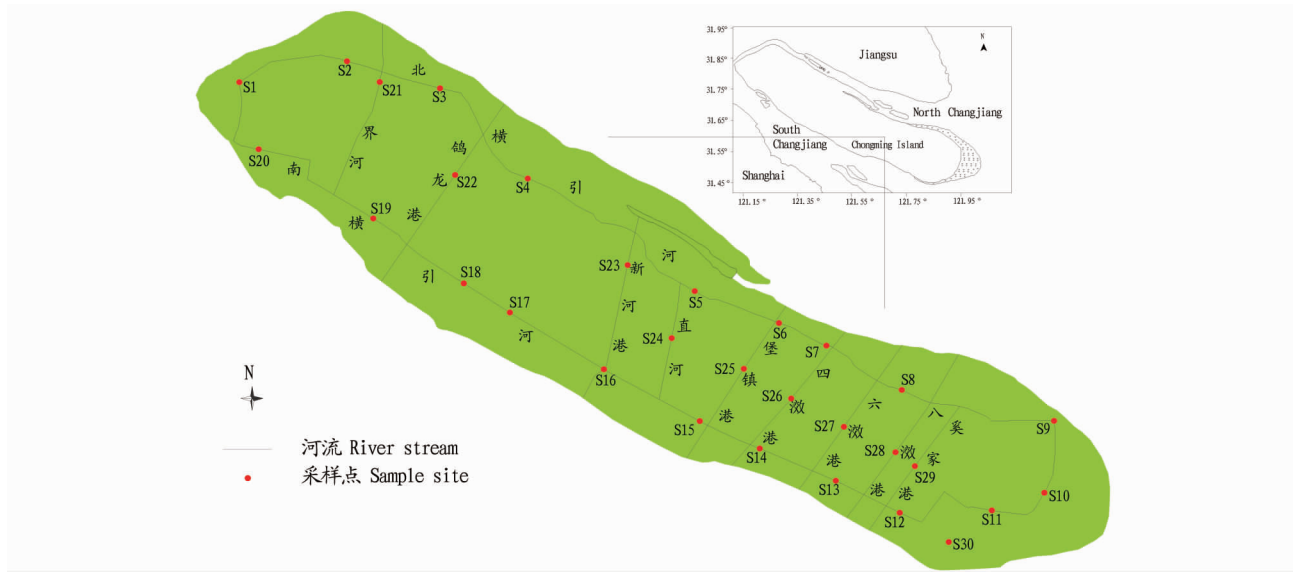


图 1 崇明岛水系采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites on Chongming Island

分析》<sup>[17]</sup>及《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)相关检测方法对各监测指标进行测定,检测方法见表 1。

表 1 监测指标分析及来源

Table 1 Analytical methods and source of testing indicators

检测指标 Test index	分析方法 Analysis method	方法来源 Method source
TN	酸性过硫酸钾消解紫外分光光度法	GB 11894—89
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	纳氏试剂比色法	GB 7479—87
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	酚二磺酸光度法	GB 7480—87

1.4 数据处理方法 水质评价标准执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),采用 Origin 制图。

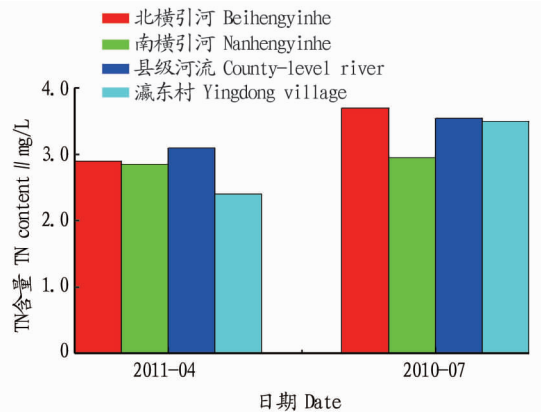
## 2 结果与分析

### 2.1 氮营养盐的时间变化特征

2.1.1 不同降水期 TN 的分布特征。从图 2 可以看出,采样期间不同级别河流 TN 平均含量均表现为丰水期大于枯水期。4 个采样点位中,瀛东村在不同季节 TN 平均含量差别最大,其余点位不同季节 TN 含量差别不明显。

不同季节 TN 平均含量的差异从某一侧面反映了氮营养盐的污染来源。瀛东村受人类活动影响显著,夏季正值游客数量高峰期,大量未经处理的生活污水经过地表径流进入水体,非点源污染严重,加之流域内水产养殖旺盛,加剧了流域富营养化趋势,因此丰水期和枯水期氮营养盐含量差别较大。其余点位氮营养盐含量则同时受流域内点源和非点源污染的影响。所有采样点 TN 含量的最小值均高于水体发生富营养化风险的限值(0.2 mg/L)<sup>[18]</sup>,表明崇明水体氮营养盐浓度总体偏高,富营养化趋势明显。

2.1.2 不同降水期  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的分布特征。从图 3 可以看出,北横引河的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  平均含量表现为枯水期低于丰水期,表明其受非点源污染影响较大,这主要是由于其流经区域为北部种植区,而夏季是农业生产施肥较为集中的时期,



注:2011-04 是枯水期,2010-07 是丰水期

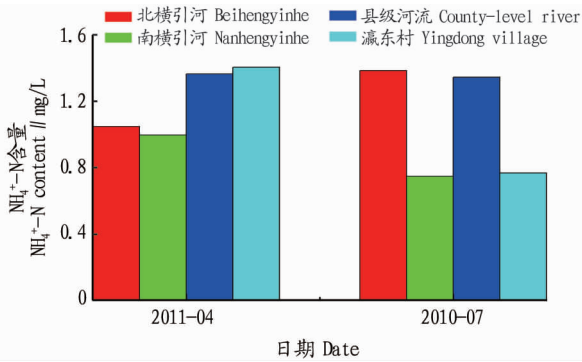
Note:2011-04 is a dry season,2010-07 is a wet season

图 2 不同降水期不同区域 TN 的分布特征

Fig. 2 Distribution characteristics of TN in different regions during different precipitation periods

化肥中的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  随雨水淋溶进入河流,从而导致这些河流中的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量在丰水期较高;南横引河和县级河流的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  平均含量丰水期低于枯水期,表明其受点源污染影响较大,主要由于南横引河流域分布着崇明重要的工业城镇。水体中的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  主要来源于未经处理或处理不完全的工业废水和生活污水中含氮有机物的分解、家禽家畜粪便及农施化肥等<sup>[19-20]</sup>,流域产业分布的差异使得不同级别河流  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  随降水期的变化而不同。

2.1.3 不同降水期  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的分布特征。从图 4 可以看出,不同区域  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  平均含量变化特征一致,均表现为枯水期低于丰水期。农田过度使用化肥、河道污水、污灌等都是  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  污染的主要来源。在丰水期,农业生产活动施入土壤中的氮肥会在微生物作用下形成  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,不易被颗粒物吸附或包裹,在雨水冲刷后通过淋溶等面源污染导致陆源  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  输出量增加。

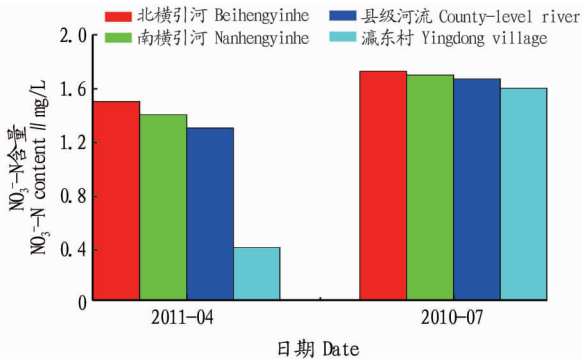


注:2011-04 是枯水期,2010-07 是丰水期

Note:2011-04 is a dry season,2010-07 is a wet season

图3 不同降水期不同区域 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的分布特征

Fig.3 Distribution characteristics of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in different regions during different precipitation periods



注:2011-04 是枯水期,2010-07 是丰水期

Note:2011-04 is a dry season,2010-07 is a wet season

图4 不同降水期不同区域 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的分布特征

Fig.4 Distribution characteristics of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N in different regions during different precipitation periods

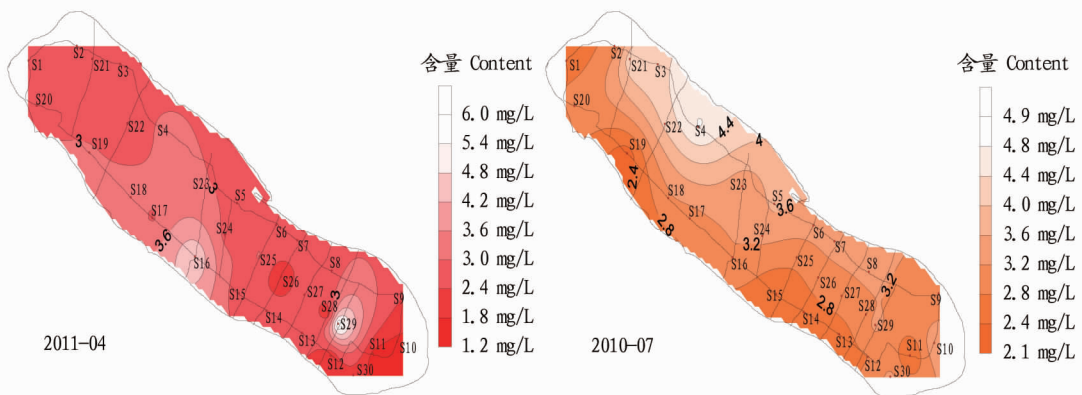
## 2.2 氮营养盐的空间变化特征

**2.2.1 不同流域 TN 的空间分布特征。**由图 5 可知,枯水期北横引河水质属于劣 V 类,TN 分布沿程差异不大。S4 点上游是长征农场,该点 TN 较高,可能与面源污染有关。S7 点

下游地表面源污染减少,TN 含量逐渐降低。S9 点位于东滩自然保护区内,地表污染较轻,因此 TN 含量最低。南横引河水质属于 IV 至劣 V 类,TN 含量在上下游差异较大。中上游 TN 含量均较高,特别是 S16 点出现最高值。南横引河上游沿程主要分布着城镇,较高的 TN 含量可能与城镇工业废水和生活污水排入有关。S13 点之后逐渐进入东滩保护区,污染的减少导致 TN 含量相应降低。县级河流水质属于 V 至劣 V 类。S26、S28 出现较低值,S29 出现极高值。S26、S28 位于四淝港、八淝港上,沿程主要是土质良好的大面积耕地,生态农业园区的建设使该区域氮营养盐流失量降低,因而水体中 TN 值较低。S29 处 TN 含量较高,与人类生活污水排放有关。

丰水期北横引河水质属于劣 V 类,TN 含量呈现分段特征。S1 到 S4 点剧烈增加,之后逐渐降低。东部地表面源污染减少,致使 TN 含量逐渐降低。南横引河水质属于劣 V 类,TN 含量分布高低错落,并未呈现明显的分布特征。丰水期的强降水致使南横引河面源污染增加,进而导致南横引河河流水质整体出现明显的恶化趋势。县级河流水质属于劣 V 类水质。S21、S22 出现较高值,也与降雨冲刷导致的氮营养盐流失有关。

**2.2.2 不同流域 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的空间分布特征。**从图 6 可以看出,枯水期北横引河 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 分布差异较大。S2 点左侧是新海镇,城镇生活污水排放致使该点 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量较高。S7 点有渔船停泊,其较高的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量来源于渔民生活污水排放。南横引河 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 分布高低错落。S16、S18 处出现极高值,原因是它们位于崇明县的工业重镇(新河镇与城桥镇)附近,大量生活污水和工业废水通过河流系统排入南横引河,致使水体中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量较高。县级河流 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 分布高低错落,中部 S23、S25 和东部 S29 出现较高值。S23 位于新河港,沿程新河镇和东平镇等村镇点源排放会对水体产生影响;另一方面,该区域是农业种植区,河道没有护坡,采样点坡岸处即可见农作物,化肥的大量施用导致水体 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量较高。

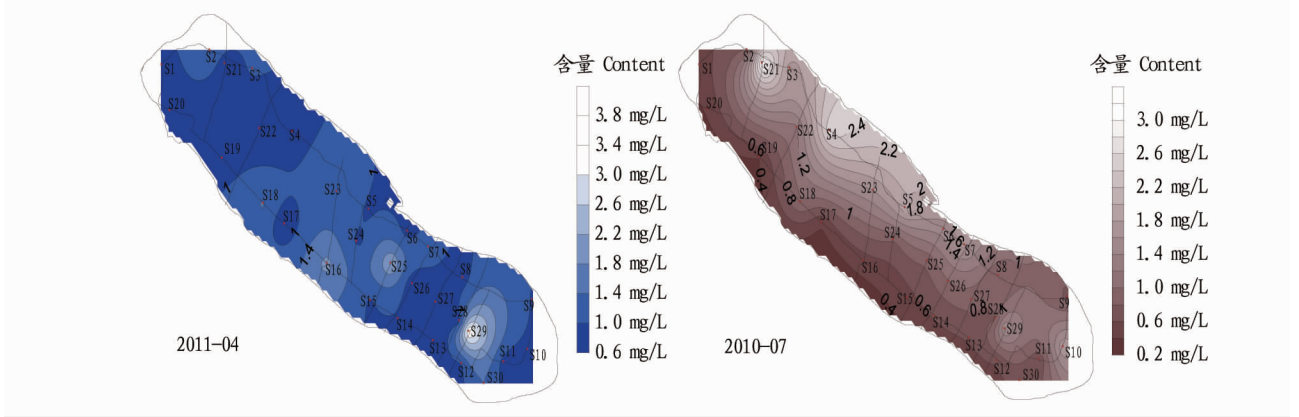


注:2011-04 是枯水期,2010-07 是丰水期

Note:2011-04 is a dry season,2010-07 is a wet season

图5 不同降水期不同流域 TN 的空间分布特征

Fig.5 Spatial distribution of TN in different regions during different precipitation periods



注:2011-04 是枯水期,2010-07 是丰水期

Note:2011-04 is a dry season,2010-07 is a wet season

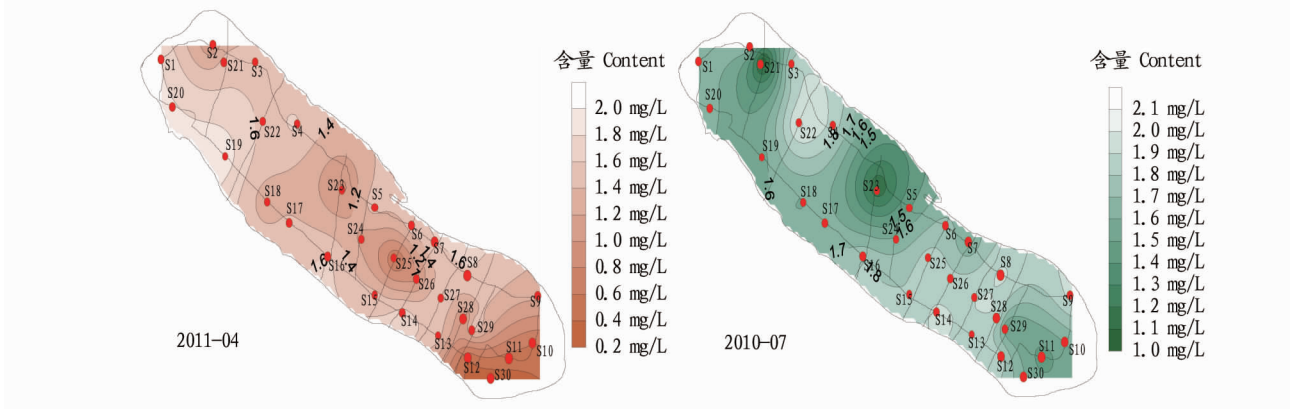
图 6 不同降水期不同流域  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的空间分布特征

Fig. 6 Spatial distribution of  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  in different regions during different precipitation periods

丰水期北横引河  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  分布呈现分段特征。上游含量逐渐增加,中下游逐渐降低,表现出典型的面源污染特征。南横引河沿程差别不大,极高值出现在 S10 点处。县级河流  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  分布规律复杂。西部 S21 处  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量最高,与农业种植区的化肥流失有关;东部 S29 处  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量较高,则主要与城镇生活污水排放有关。

**2.2.3 不同流域硝态氮的空间分布特征。**从图 7 可以看出,枯水期北横引河  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  分布整体差异不大,S2、S9 处出现低值。S2 处  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量较低,原因可能是春季水体

中氧含量较低,较低氧含量会阻碍硝化作用的发生,水体自净能力差,因此出现低硝氮、高氨氮的特征<sup>[16]</sup>。S9 处  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  与 TN 含量均较低,与地表面源污染减少有关。南横引河  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  分布差异明显,下游含量明显低于上中游。下游位于东滩保护区之内,地表面源污染较低,致使  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量较低。县级河流  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  分布差异明显。其中,西部 S21、S22 处较高的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量与该区域大面积农场面源污染严重有关;东部 S27、S29 处较高的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量则与城镇生活污水排放有关。



注:2011-04 是枯水期,2010-07 是丰水期

Note:2011-04 is a dry season,2010-07 is a wet season

图 7 不同降水期不同流域  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的空间分布特征

Fig. 7 Spatial distribution of  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  in different regions during different precipitation periods

丰水期北横引河  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  分布整体差异不大。北横引河沿程主要分布着农业种植区,丰水期降雨较多,地表冲刷致使农药化肥流失严重,因此上下游  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量差异不大。南横引河  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  分布差异明显,下游含量明显低于上中游。上中游沿程是城镇区,城镇污水排放致使  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量较高。县级河流  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  分布差异较大且高低错落。中部河道  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量较高,原因是该区域分布着大量农田,且河道没有护坡,丰水期降雨冲刷严重,致使陆源输

出  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量增加。

**2.3 氮营养盐的污染源** 崇明岛水体中氮污染的来源分为点源和非点源两大类型。点源污染主要是工业废水、城镇生活污水等。非点源是指点源以外的污染源,主要包括城镇地表径流、农业地表径流、林区地表径流、矿区地表径流、大气降雨降尘、水产养殖业和流动船舶等。在各污染源中,点源污染对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  均有贡献,而非点源污染则对  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的贡献较大。



具体而言,崇明岛内水体丰水期的 TN 含量均高于枯水期。北横引河丰水期的 TN 含量最高,县级河流次之,南横引河最低,且南横引河枯水期和丰水期 TN 含量差别不大。以上特征说明北横引河、县级河流、瀛东村河流的 TN 含量与流域内非点源污染关系较大,南横引河 TN 则受到点源污染和非点源污染的程度相当。北横引河  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量表现为丰水期的含量高于枯水期,受非点源污染影响较大;其余流域则相反,受点源污染影响较大。各流域丰水期的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度均高于枯水期,受非点源污染影响较大。

崇明岛不同流域溶解态无机氮(DIN) ( $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) 的含量在 TN 中所占比例为 64% ~ 98%,说明 DIN 是崇明岛水系氮营养盐的主要组分。进一步分析可知,水系中 DIN 以  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  为主,除瀛东村(40%)以外, $\text{NO}_3^- - \text{N}$  平均占到 TN 的 50% 以上。从 TN 的构成形式来分析, $\text{NO}_3^- - \text{N}$  对崇明岛水系氮营养盐污染贡献率相对较大。

### 3 结论

(1) 受工农业生产活动影响,崇明岛内不同级别河流氮营养盐含量在不同降水期变化规律明显。岛内各级别河流的 TN 和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量表现为丰水期大于枯水期; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量在北横引河和瀛东村河流表现为丰水期大于枯水期,南横引河和县级河流则表现为丰水期小于枯水期。

(2) 无论是丰水期还是枯水期,岛内流域的 TN 含量均高于水体发生富营养化风险的限值,水环境富营养化趋势明显。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  是崇明岛 TN 的主要组成部分,主要来源于农田过度使用化肥、河道污水、污灌等。

(3) 受地表径流、农业面源污染及城镇点源污染的影响,不同降水期不同级别河流氮营养元素空间变化复杂,反映出人类活动对崇明岛水环境的影响日益严重。

### 参考文献

[1] 曲雨梅,姚德,丛丕福. 辽东湾氮磷营养盐变化特征及潜在性富营养

价[J]. 环境科学,2006,27(2):263-267.

- [2] GUO L Y, YANG R, WANG D L. A study on the spatial difference of farmland nitrogen nutrient budget in the Bohai Rim region, China[J]. Journal of geographical sciences, 2012, 22(4):761-768.
- [3] VITOUSEK P M, NAYLOR R, CREWS T, et al. Nutrient imbalances in agricultural development[J]. Science, 2009, 324(5934):1519-1520.
- [4] 赵楠芳,李荣芳,胡春华. 鄱阳湖地表水硝酸盐时空变异性及其来源研究[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(8):93-98.
- [5] 武坤宇,王鹏,沈立成,等. 金佛山地区地下水硝态氮污染时空变异性研究[J]. 环境科学, 2011, 32(11):3247-3254.
- [6] 郑丙辉,曹承进,秦延文,等. 三峡水库主要入库河流氮营养盐特征及其来源分析[J]. 环境科学, 2008, 29(1):1-6.
- [7] 陈格君,周文斌,李美婷,等. 鄱阳湖氮磷营养盐对浮游植物群落影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2013(3):48-52,61.
- [8] 奚姗姗,周春财,刘桂建,等. 巢湖水体氮磷营养盐时空分布特征[J]. 环境科学, 2016, 37(2):542-547.
- [9] 焦珂伟,李凤祥,周启星. 松花江流域营养盐的空间分布及污染等级评价[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(4):769-775.
- [10] 叶琳琳,吴晓东,赵冬悦,等. 崇明岛河网浮游植物和无机、有机氮的时空分布特征[J]. 湖泊科学, 2016, 28(3):528-536.
- [11] 林发永. 崇明岛水系改造的几点设想[J]. 水利水电快报, 2003, 24(8):15-16.
- [12] 高伟,伊璇,刘永,等. 可持续性约束下开放流域系统氮磷环境承载力研究[J]. 环境科学学报, 2016, 36(2):690-699.
- [13] 刘佳佳. 河口边滩湖泊营养盐及藻类生长动力学研究:以崇明北湖为例[D]. 上海:同济大学, 2008.
- [14] HAN Y G, FAN Y T, YANG P L, et al. Net anthropogenic nitrogen inputs (NANI) index application in Mainland China[J]. Geodema, 2014, 213:87-94.
- [15] 袁琳,张利权,翁骏超,等. 基于生态系统的上海崇明东滩海岸带生态系统退化诊断[J]. 海洋与湖泊, 2015, 46(1):109-117.
- [16] 陈祖军,施晓文,毛兴华. 长江口海平面上升对崇明三岛除涝安全的影响研究[J]. 气候变化研究进展, 2015, 11(4):239-244.
- [17] 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, 2002:239-284.
- [18] 张晟,李崇明,付永川,等. 三峡水库成库后支流库湾营养状态及营养盐输出[J]. 环境科学, 2008, 29(1):7-12.
- [19] 梁秀娟,肖长来,杨天行,等. 密云水库中氮分布及迁移影响因素研究[J]. 中国科学(D辑), 2005, 35(S1):272-280.
- [20] 邢光熹,曹亚澄,施书莲,等. 太湖地区水体氮的污染源和反硝化[J]. 中国科学(B辑), 2001, 31(2):131-137.

(上接第 47 页)

养元素的组成及含量是有差异的。叶片诊断法是比较复杂和综合性比较强的,香梨树叶片的养分受众多因素控制,所以不能够采用单一的指标来判断系统的限制因子,今后还需进一步结合土壤养分、果实品质来诊断树木营养状况。

### 参考文献

- [1] 李楠,廖康,成小龙,等. '库尔勒香梨'根系分布特征研究[J]. 果树学报, 2012, 29(6):1036-1039.
- [2] 成磊. 绿色优质库尔勒香梨生产关键技术的试验研究与示范[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2004.
- [3] 张小平. 加快“生态健康果园”建设 展现新疆林果产品魅力[J]. 新疆林业, 2011(6):4-6.
- [4] 柴仲平,王雪梅,陈波浪,等. 库尔勒香梨年生长期生物量及养分积累变化规律[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3):656-663.
- [5] 吴锡麟,叶功富,张尚炬,等. 不同海岸梯度上短枝木麻黄小枝金属元

素含量及其再吸收率动态[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(5):645-650.

- [6] 张继澍. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [7] 唐菁,杨承栋,康红梅. 植物营养诊断方法研究进展[J]. 世界林业研究, 2005, 18(6):45-48.
- [8] 左海军,马履一,王梓,等. 林木营养诊断与林地施肥研究综述[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(6):78-82.
- [9] 赵娟. 植物营养水平表征古侧柏健康状况的可行性研究[D]. 北京:北京林业大学, 2013.
- [10] 柴仲平,王雪梅,陈波浪,等. 氮、磷、钾对库尔勒香梨果实中矿质元素含量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013(3):83-86.
- [11] 李港丽,苏润宇,沈隽. 几种落叶果树叶片内矿质元素含量标准值的研究[J]. 园艺学报, 1987, 14(2):81-89.
- [12] 魏雪梅,廖明安. 金花梨叶片营养诊断分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(20):8549-8551.
- [13] 李单凤,于顺利,王国勋,等. 黄土高原优势灌丛营养器官化学计量特征的环境分异和机制[J]. 植物生态学报, 2015, 39(5):453-465.