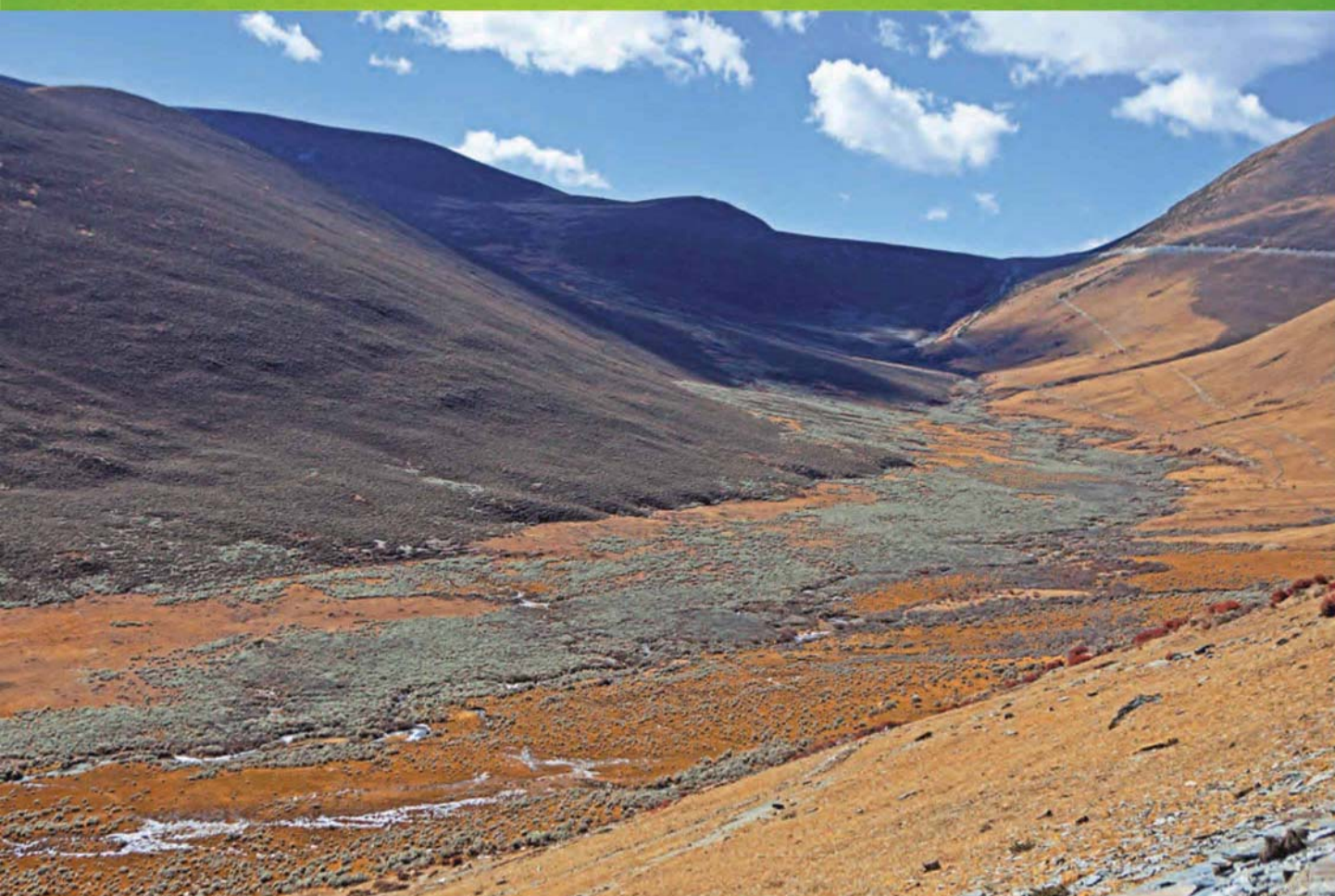


ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 18 期

2013 年 9 月 (半月刊)

## 目 次

### 中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 ..... 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 ..... 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 ..... 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 ..... 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 ..... 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 ..... 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 ..... 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 ..... 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 ..... 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 ..... 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 ..... 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 ..... 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 ..... 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤  $\text{NH}_3$  挥发及氮肥利用率的影响 ..... 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 ..... 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 ..... 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 ..... 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 ..... 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 ..... 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 ..... 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 ..... 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 ..... 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 ..... 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 ..... 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 ..... 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 ..... 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 ..... 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 ..... 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 ..... 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 ..... 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 ..... 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 ..... 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

|                                                                                     |                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应 .....                                                      | 张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714) |
| 广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征 .....                                                             | 温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723) |
| 戴云山黄山松群落与环境的关联 .....                                                                | 刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731) |
| 四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系 .....                                            | 王文君, 杨万勤, 谭 波, 等 (5737) |
| 中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态 .....                                                 | 范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751) |
| 塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征 .....                                                | 李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760) |
| 鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征 .....                                                            | 戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768) |
| 营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响 .....                                                    | 陈 纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777) |
| 西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构 .....                                                            | 刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785) |
| 西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律 .....                                                      | 潘 影, 徐增让, 余成群, 等 (5794) |
| 太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征 .....                                                             | 姚 昕, 朱广伟, 高 光, 等 (5802) |
| 基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究 .....                                                       | 王传辉, 吴 立, 王心源, 等 (5808) |
| 近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应 .....                                               | 李正国, 杨 鹏, 唐华俊, 等 (5818) |
| 鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应 .....                                                      | 谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828) |
| 珠三角河网浮游植物生物量的时空特征 .....                                                             | 王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835) |
| 南京市景观时空动态变化及其驱动力 .....                                                              | 贾宝全, 王 成, 邱尔发 (5848)    |
| 川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化 .....                                                  | 秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)      |
| 城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例 .....                                                      | 周 健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865) |
| 基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究 .....                                                  | 范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874) |
| 干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析 .....                                                        | 夏富强, 唐 宏, 杨德刚, 等 (5883) |
| 海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例 .....                                                | 魏 超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893) |
| 中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性 .....                                                             | 梁 君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)    |
| 丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化 .....                                                      | 江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917) |
| 基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例 .....                                                     | 刘耕源, 杨志峰, 陈 彬, 等 (5926) |
| 保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例 .....                                        | 徐 飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935) |
| 三江源牧户参与草地生态保护的意愿 .....                                                              | 李惠梅, 张安录, 王 珊, 等 (5943) |
| 沈阳市降雨径流初期冲刷效应 .....                                                                 | 李春林, 刘 淼, 胡远满, 等 (5952) |
| 期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09 |                         |



**封面图说:** 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201304130698

姚昕, 朱广伟, 高光, 秦伯强. 太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征. 生态学报, 2013, 33(18): 5802-5807.

Yao X, Zhu G W, Gao G, Qin B Q. Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5802-5807.

## 太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征

姚 昕<sup>1</sup>, 朱广伟<sup>2,\*</sup>, 高 光<sup>2</sup>, 秦伯强<sup>2</sup>

1. 聊城大学环境与规划学院, 聊城 252059

2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008

**摘要:**为探索氨基酸(DAAs)组分特征对生物可利用性溶解有机质(DOM)的示踪及定量表征可能性,对太湖3个湖区(北太湖:藻型湖区,东太湖:草型湖区,南太湖:农业污染湖区)水体DAAs浓度、组分特征及其空间变化进行了调查研究,并对控制其量、质空间分布的因素加以讨论。结果表明夏季太湖水体DAAs的浓度范围为0.27—3.95  $\mu\text{mol/L}$ ,平均值为 $(1.38 \pm 1.17) \mu\text{mol/L}$ ,与湖泊、海洋中研究中报道结果相近。北太湖、南太湖、东太湖3个湖区的DAAs浓度平均值分别为 $(2.59 \pm 0.71) \mu\text{mol/L}$ ,  $(0.48 \pm 0.14) \mu\text{mol/L}$ ,  $(0.48 \pm 0.16) \mu\text{mol/L}$ ,北太湖DAAs浓度及对有机碳氮的贡献都明显高于其他湖区,DAAs组分中以苯丙氨酸和赖氨酸为主,而在南太湖和东太湖,赖氨酸都是最主要的DAAs组分。表明水体的DAAs组分特征能对湖泊营养状态及生态类型的变化做出响应,可以作为指示湖泊营养状态的生物标记物。DAAs也可以作为DOM生物降解性的评价参数,反映湖泊水体中与生物活性相关的DOM动态变化。根据氨基酸对有机碳的贡献估算出北太湖的活性溶解性有机碳相对含量为 $(17.65 \pm 17.84)\%$ ,显著高于南太湖和东太湖。但由于太湖高度的空间异质性,还需要在今后的研究工作中进行相关的室内实验,建立适用于太湖的经验公式。

**关键词:**太湖;溶解性有机质;氨基酸;有机质来源

## Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China

YAO Xin<sup>1</sup>, ZHU Guangwei<sup>2,\*</sup>, GAO Guang<sup>2</sup>, QIN Boqiang<sup>2</sup>

1 School of Environment and Planning, Liaocheng University, Shandong 252059, China

2 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

**Abstract:** Amino acids (AAs) are important bio-available components of organic matter (OM) and are the major forms of organic nitrogen (ON) in aquatic ecosystem. They also represent significant fractions of OM in recent coastal marine sediments, water column particles and dissolved organic matters. They are typically labile composed relative to bulk OM and ON, and account for a considerable portion of the particulate OC and ON recycled in both water column and sediments, and therefore are an important nutrient form. Owing to the different AAs monomers have different biogeochemical stability, AAs are often used as an indicator of organic matter sources and as an index of OM degradation potential. Changes in amino acid composition exhibit consistent trends and demonstrate the degradation of cellular organic matter as it sinks through water column and is incorporated into sediments. Due to the labile character of AAs, the percentage of OC and N represented by amino acid (AA-C/OC% and AA-N/ON%) and the percentage of total amino acids have proven to be useful degradation indicators. They are sensitive at different stages of OM alteration and appear uncompromised by source variation. Dissolved amino acids (DAAs) characteristics were investigated in water of Lake Taihu, a large, shallow and eutrophic freshwater lake in China. The northern lake is characterized by phytoplankton dominance, high water turbidity, and severe *Microcystis* spp. algal blooms. In contrast, eastern lake is characterized by submersed vegetation, clear water, and diverse communities of fishes and invertebrates. The main upstream land use types of south Taihu were classified by the mountain forests and

**基金项目:**国家自然科学基金项目(41230744, 41171368);中国科学院南京地理与湖泊研究所“一三五”规划项目(NIGLAS2012135002);山东省自然科学基金(ZR2012DQ003)

收稿日期:2013-04-13; 修订日期:2013-07-10

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gwzhu@niglas.ac.cn

farmland. DAAs concentrations in Taihu ranged from 0.27 to 3.95  $\mu\text{mol/L}$ , with a mean value of 1.38  $\mu\text{mol/L}$ . The large regional differences in concentrations and yields of DAAs suggested that DOM produced *in situ* is an important source of bio-reactive of organic matter in waters of Taihu. The spatial distributions of DAAs concentrations in Taihu were less variable than those previously reported from other aquatic environments. DAAs concentrations of north Taihu were significantly higher than south lake and east lake, with mean values of  $(2.59 \pm 0.71)$   $\mu\text{mol/L}$  in north Taihu,  $(0.48 \pm 0.14)$   $\mu\text{mol/L}$  in south Taihu, and  $(0.48 \pm 0.16)$   $\mu\text{mol/L}$  in east Taihu, respectively ( $P < 0.001$ ). Based on the relationship between amino acid yields and percent labile DOC,  $(17.65 \pm 17.84)\%$  of fresh DOC in north lake is labile, which is higher than in south lake or east lake. The results showed internal sources mainly from the decomposing of phytoplankton should be the main source of DAAs in Taihu, and DAAs was important fraction of DOM. DAAs compositions were dominated by Phenylalanine (PHE) and lysine (LYS) in north lake, while only LYS in south and east lake. Compositions and concentrations of DAAs can be possible used as an indicator, which could provide useful information about the nutritional status and bio-available DOM in Lake Taihu. But because of high spatial heterogeneity in Taihu, we need to establish DAAs-labile DOC linear model for Lake Taihu, by the means of the algal-dominated and macrophyte-dominated DOM degradation experiments.

**Key Words:** Lake Taihu; DOM; DAAs; source of DOM

营养盐再生是水生态系统中营养盐生物地球化学循环的重要环节,作为营养盐的短期供给机制,对浮游植物的生长繁殖具有重要作用,在海洋及内陆水体的生态研究中受到高度重视<sup>[1-2]</sup>。水体中的溶解态氨基酸(DAAs; Dissolved Amino acids)是天然有机质中的高度活性成分,不但可以被微生物直接吸收利用,其降解产物也是碳、氮营养盐的再生来源之一<sup>[3-4]</sup>。氨基酸的含量及组分变化在海洋及深水湖泊中还被广泛应用于定性和定量示踪有机质的来源、降解过程,以及表征矿化程度和生物可利用性程度等<sup>[5-9]</sup>,然而在国内浅水湖泊相关研究中并未引起足够的重视。

太湖是我国第三大淡水湖泊,面临着严重的湖泊富营养化和频繁蓝藻水华暴发问题<sup>[10-11]</sup>。以往研究对北太湖藻型区的溶解性氨基酸组分特征进行了报道,结果表明藻型区的 DAAs 以低分子量形态存在容易被生物吸收利用,主要来源于湖泊自生有机质降解而非外源输入,能有效反映湖泊水体中高生物活性有机质的动态变化<sup>[12]</sup>。

然而太湖复杂的河网水系,草、藻型等不同的生态类型,夏季频繁的蓝藻水华以及沉积物再悬浮等,高度的空间异质性使得水体中有机质分布、来源、组成和变化极为复杂,在藻型区得出的结论并不能反映出太湖整体的有机质变化趋势。基于此,本文通过检测太湖不同湖区水体溶解性氨基酸浓度、组分特征的空间变化,并对控制其质量和组分空间分布的因素加以讨论,探索利用 DAAs 组分特征对具有高生物活性有机质进行示踪及定量表征的可能性。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

2010 年 8 月份在太湖设置 21 个样点采集表层水样(水下 50 cm 深),其中 1—9 号点位于藻型湖区北太湖,10—16 号点位于南太湖(入湖河流所经流域以山区及农业用地为主,湖水受污染程度比北太湖低),17—21 号点位于草型湖区东太湖(图 1)。水样带回实验室后经孔径为 0.7  $\mu\text{m}$  的 GF/F 滤膜过滤,滤液即为 DOM 样品,用于测定溶解性有机碳(DOC)、溶解性有机氮(DON)及 DAAs。

### 1.2 分析测定

DAAs 的测定:氨基酸的分析方法见文献<sup>[13]</sup>。氨基酸的测定工作在中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室进行。

将 1 mL 水样置于安培瓶中,加入 5 mL 6 mol/L 的盐酸封瓶,在 110  $^{\circ}\text{C}$  下水解 24 h,取出 1 mL 水解后的样品在真空干燥器中挥发至干,重复加超纯水挥发至干步骤 2 次,用 1 mL 超纯水溶解、封瓶、冷冻待分析。水样中的氨基酸经邻苯二甲醛(OPA)衍生化后进行 HPLC 色谱分析。氨基酸的标样采用 Sigma 公司生产的 AAs-18 氨基酸混标溶液,内含 18 种氨基酸,分别是:天冬氨酸(ASP)、丝氨酸(SER)、色氨酸(TRP)、谷氨酸(GLU)、甘氨酸(GLY)、组氨酸(HIS)、精氨酸(ARG)、苏氨酸(THR)、丙氨酸(ALA)、脯氨酸(PRO)、半胱氨酸(CYS)、酪氨酸(TYR)、缬氨酸(VAL)、蛋氨酸(MET)、赖氨酸(LYS)、异亮氨酸(ILE)、亮氨酸(LEU)及苯丙氨酸(PHE)。色谱仪为 Agilent 1200,色谱柱为 Agilent Eclipse XDB-C18 (5  $\mu\text{m}$ , 4.6 mm $\times$ 150 mm),色谱条件为 A 相为 40 mmol/L 的  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (10 mol/L 的 NaOH 调 pH 至 7.8),B 相为乙腈:甲醇:水(体积比为 45:45:10)混合液。检测器为荧光检测器(FLD),波长:Ex/Em (nm)为 338/390。因为色氨酸在酸水解过程中被破坏,半胱氨酸在 FLD 检测器下无吸收,脯氨酸在 OPA 中无法衍生,本实验中的总水解氨基酸含量为 15 种氨基酸构成。另外,缬氨酸和蛋氨酸峰值距离近,为增加测定效率,本测定没有区分,作为共同定量。

水样中 DOC 的测定采用 Shimadzu V-CPN 型 TOC 分析仪测定。DON 的测定采用水体溶解性总氮 (DTN, 水样过孔径为 0.45  $\mu\text{m}$  的滤膜后, 碱性过硫酸钾消解, 紫外光度法测定总氮) 与离子态氮 ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^+\text{-N}$  之和, Skalar 流动注射分析) 之差计算而得。氨基酸态的碳、氮含量 (AA-C、AA-N) 根据各单体氨基酸含量及相应碳、氮含量换算而得。

### 1.3 统计方法

运用 SPSS11.5 进行均值、标准差、组间方差以及线性拟合等数据统计分析。回归分析和相关分析用于检测变量之间的关系。 $P>0.05$  表示未达到显著检验水平,  $0.05<P<0.01$  为显著水平,  $P<0.001$  为极显著水平。

## 2 结果

### 2.1 太湖 DAA 的空间分布特征

如图 2, 8 月份太湖水体 DAA 的浓度范围为 0.27—3.95  $\mu\text{mol/L}$ , 平均值为  $(1.38 \pm 1.17) \mu\text{mol/L}$ , 与文献中湖泊以及海洋中的研究资料相比<sup>[14-17]</sup>, 夏季太湖水体 DAA 的浓度与之接近 (图 2)。北太湖、南太湖、东太湖 3 个湖区的 DAA 浓度范围分别为 1.81—3.95  $\mu\text{mol/L}$ , 0.27—0.68  $\mu\text{mol/L}$ , 0.27—0.71  $\mu\text{mol/L}$ , 平均值分别为  $(2.59 \pm 0.71) \mu\text{mol/L}$ ,  $(0.48 \pm 0.14) \mu\text{mol/L}$ ,  $(0.48 \pm 0.16) \mu\text{mol/L}$ , 北太湖与其他两个湖区之间的浓度差异显著 ( $P<0.001$ ), 但是南太湖和东太湖的浓度没有明显差异。

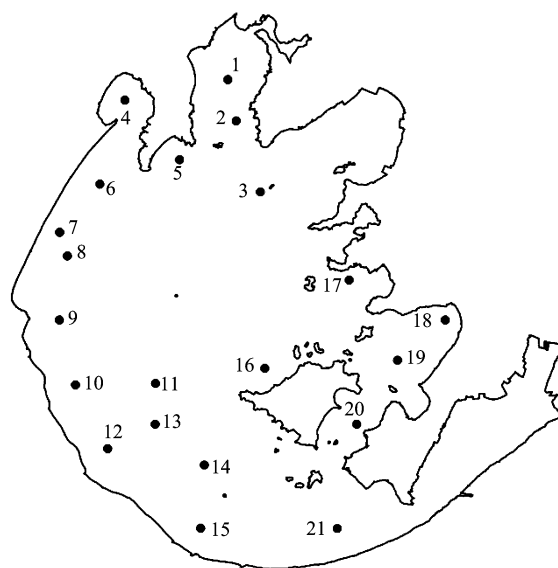


图 1 采样点分布图

Fig.1 Map of Lake Taihu and its tributaries showing location of the sampling sites

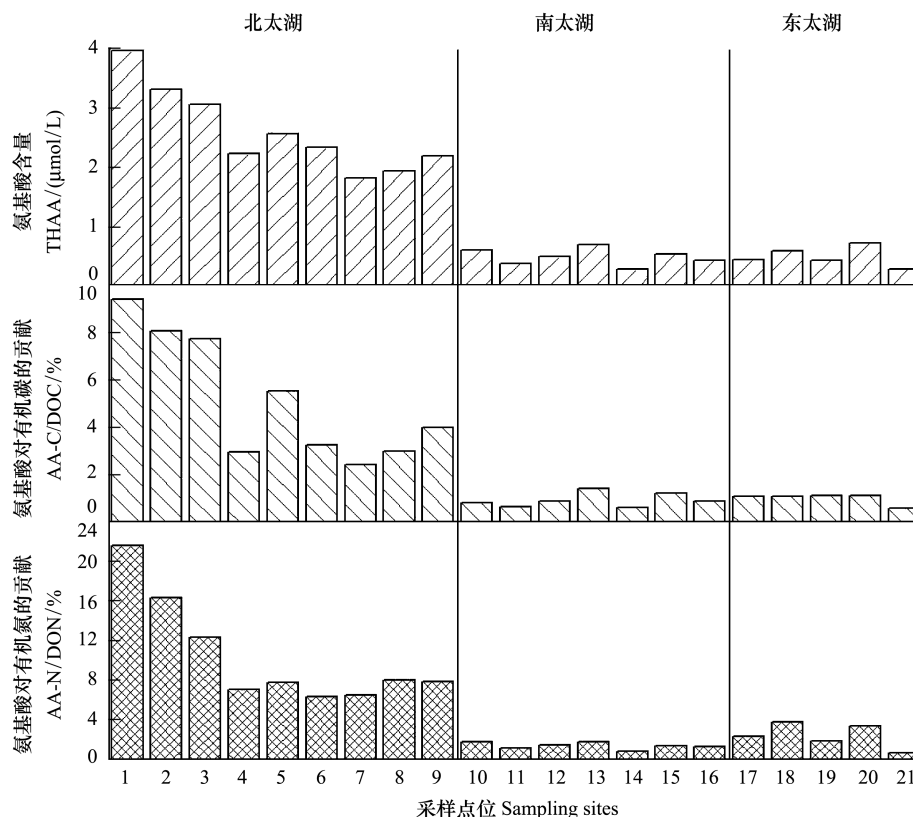


图 2 不同湖区各采样点的氨基酸含量及其对有机碳氮的贡献

Fig.2 THAA, AA-C/DOC% and AA-N/DON% in three regions of Lake Taihu

由于不同样点之间的有机碳、氮含量差异较大, 并且为了减小样品中无机物质的差别影响, DAA 的空间差异常常被转化为对有机碳氮的贡献 (AA-C/DOC%、AA-N/DON%) 来衡量或比较。与 DAA 浓度的空间分布规律类似, AA-C/DOC%、AA-N/

DON%也呈现北太湖明显高于其他两个湖区的趋势(图2)。北太湖、南太湖、东太湖三个湖区的 AA-C/DOC%的平均值分别为(5.14±2.62)%、(0.92±0.29)%、(0.99±0.24)%,AA-N/DON%的平均值分别为(10.42±5.33)%、(1.34±0.35)%、(2.35±1.26)%,与其他湖泊或海洋比较也相差不大<sup>[14-17]</sup>。AA-C/DOC%和 AA-N/DON%之间呈显著线性正相关( $r^2=0.926, P<0.01$ ),表明氨基酸中的 C 和 N 有比较相似的来源。

### 2.2 氨基酸组分特征

在 8 月太湖水体溶解性氨基酸样品中,丙氨酸 AIA 均低于检测线未检出,缬氨酸和甲硫氨酸 VAL+MET 也仅在北太湖的 4 号点以及东太湖样品中检出,说明在太湖水体中 AIA, VAL+MET 浓度含量 都很低(表 1)。

表 1 不同采样点的单体氨基酸的相对含量  
Table 1 The compositions of Amino acid

| 区域<br>Region      | 样点编号<br>Sampling<br>No. | 天冬氨酸  | 谷氨酸   | 丝氨酸   | 组氨酸   | 精氨酸   | 甘氨酸   | 苏氨酸   | 酪氨酸   | 缬氨酸+<br>甲硫氨酸  | 苯丙氨酸  | 异亮氨酸  | 亮氨酸   | 赖氨酸   |
|-------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|
|                   |                         | GLU/% | GLU/% | SER/% | HIS/% | ARG/% | GLY/% | THR/% | TYR/% | VAL-MET<br>/% | PHE/% | ILE/% | LEU/% | LYS/% |
| 北太湖<br>North lake | 1                       | 0.37  | 1.57  | 1.33  | 0.09  | 0.52  | 3.93  | 0.31  | 0.50  | N.D           | 37.03 | 0.01  | 3.70  | 50.65 |
|                   | 2                       | 0.44  | 1.88  | 1.59  | 0.11  | 0.63  | 4.72  | 0.33  | 0.03  | N.D           | 37.03 | 0.01  | 4.23  | 49.00 |
|                   | 3                       | 0.25  | 1.13  | 0.96  | 0.31  | 0.38  | 2.19  | 0.14  | 0.10  | N.D           | 57.67 | 0.01  | 6.64  | 30.22 |
|                   | 4                       | 1.66  | 4.84  | 4.11  | 0.24  | 1.24  | 8.19  | 1.68  | 0.05  | 0.06          | 36.99 | 0.01  | 6.65  | 34.27 |
|                   | 5                       | 0.34  | 1.62  | 1.37  | 0.21  | 0.33  | 2.68  | 0.25  | 0.16  | N.D           | 54.36 | 0.00  | 8.08  | 30.60 |
|                   | 6                       | 3.04  | 7.95  | 6.75  | 1.00  | 2.14  | 9.97  | 2.72  | 0.30  | N.D           | 30.52 | 0.01  | 6.32  | 29.27 |
|                   | 7                       | 2.63  | 6.34  | 5.38  | 0.47  | 1.59  | 10.34 | 2.39  | 0.02  | N.D           | 36.74 | 0.02  | 6.70  | 27.36 |
|                   | 8                       | 1.97  | 5.37  | 4.56  | 0.32  | 1.21  | 8.18  | 1.79  | 0.02  | N.D           | 38.00 | 0.01  | 6.87  | 31.71 |
|                   | 9                       | 0.81  | 4.36  | 3.70  | 0.31  | 0.79  | 6.90  | 0.75  | 0.11  | N.D           | 41.68 | 0.01  | 7.34  | 33.25 |
| 南太湖<br>South lake | 10                      | 2.44  | 5.82  | 4.94  | 0.52  | 2.53  | 23.36 | 2.47  | 1.81  | N.D           | 9.97  | 0.05  | 4.98  | 41.10 |
|                   | 11                      | 1.02  | 2.59  | 2.19  | 0.89  | 1.39  | 7.94  | 1.56  | 8.40  | N.D           | 13.92 | 0.05  | 1.81  | 58.24 |
|                   | 12                      | 2.93  | 7.25  | 6.16  | 0.90  | 1.78  | 11.81 | 2.36  | 4.92  | N.D           | 13.69 | 0.06  | 2.27  | 45.86 |
|                   | 13                      | 0.34  | 1.13  | 0.96  | 0.34  | 0.39  | 2.27  | 0.67  | 3.77  | N.D           | 36.38 | 0.03  | 5.61  | 48.11 |
|                   | 14                      | 1.19  | 2.72  | 2.31  | 1.28  | 1.11  | 6.16  | 1.81  | 4.60  | N.D           | 12.95 | 0.03  | 0.78  | 65.06 |
|                   | 15                      | 1.87  | 10.40 | 8.83  | 1.50  | 0.66  | 7.86  | 2.23  | 1.94  | N.D           | 16.85 | 0.00  | 2.04  | 45.83 |
| 东太湖<br>East lake  | 16                      | 2.35  | 10.34 | 8.77  | 1.62  | 1.22  | 11.00 | 1.13  | 6.95  | N.D           | 9.40  | 0.05  | 0.73  | 46.42 |
|                   | 17                      | 1.15  | 2.88  | 2.45  | 0.63  | 0.67  | 5.95  | 0.28  | 7.98  | N.D           | 21.28 | 0.00  | 3.22  | 53.51 |
|                   | 18                      | 1.99  | 10.06 | 8.54  | 1.28  | 2.33  | 20.62 | 2.07  | 5.82  | 3.00          | 8.05  | 2.33  | 1.16  | 32.75 |
|                   | 19                      | 1.07  | 5.50  | 4.67  | 1.29  | 0.43  | 5.85  | 0.96  | 8.68  | 0.79          | 17.43 | 0.03  | 2.31  | 50.99 |
|                   | 20                      | 5.66  | 14.00 | 11.89 | 1.49  | 2.09  | 19.03 | 4.71  | 4.51  | 3.10          | 1.38  | 1.69  | 4.20  | 26.27 |
|                   | 21                      | 1.27  | 3.57  | 3.03  | 2.04  | 1.13  | 6.12  | 0.95  | 12.12 | 1.17          | 1.68  | 1.31  | 0.88  | 64.73 |

全部样品的丙氨酸 ALA 均低于检测线,在表中未列出

北太湖与其他两个湖区的 DAA 组分特征也存在较大的差异(表 1)。在北部湖区,PHE 和 LYS 占据了 DAA 的绝大部分,两者的相对含量分别是(41.11±8.95)%和(35.15±8.58)%,而在南部湖区和东部湖区,LYS 均为主要组分,所占比重分别为(50.09±8.41)%和(45.64±15.78)%。

### 2.3 氨基酸组分的属性特征

根据氨基酸分子中所含氨基和羧基数目的不同,将 14 种氨基酸分为 5 个类型:中性氨基酸(neutral:GLY、ALA、ILE、LEU、VAL+MET)、羟基氨基酸(hydroxylic:SER、THR)、碱性氨基酸(basic:HIS、ARG、LYS)、芳香环氨基酸(aromatic:TYR、PHE)和酸性氨基酸(acidic:ASP、GLU)。南太湖和东太湖的氨基酸属性分类特征比较相似,都是碱性氨基酸>芳香环氨基酸>中性氨基酸>酸性氨基酸>羟基氨基酸,而北太湖为:芳香环氨基酸>碱性氨基酸>中性氨基酸>酸性氨基酸>羟基氨基酸(图 3)。各种类型的氨基酸在不同湖区之间的差异也各不相同,其中碱性氨基酸和芳香环氨基酸在 3 个湖区之间均存在显著差异( $P<0.05$ ),而其 3 种类型氨基酸在湖区之间的差异并不显著。

## 3 讨论

### 3.1 氨基酸含量及组分特征对湖泊营养状态的指示

Thomas 对英格兰东部的一系列小型贫营养化湖泊以及富营养化排污沟进行对比研究发现 DAA 浓度与水体营养状态之间

存在很好的相关性,一些单体氨基酸在不同营养状态水体中的浓度差别也表现的非常明显,而这种差异被认为来源于富营养化水体中有机质的微生物降解及释放<sup>[18]</sup>。文献报道浮游植物释放的 DOM 能占到净初级生产力的 10%—50%之多<sup>[19]</sup>。

由此,可以推测出 DAAs 在北太湖水体中表现出的高浓度空间分布特征,与其旺盛的生产力以及较高的藻类生物量有着直接的联系。将梅梁湾(样点 1、2、3)与河口区(样点 6、7、8、9)进行对比,也可以发现梅梁湾的氨基酸各指标(DAAs 浓度、AA-C/DOC%、AA-N/DON%)都明显高于河口区,这一结果进一步证明了 2009 年在太湖北部氨基酸调查中得出的太湖水体 DAAs 主要来源并非外源输入的推论<sup>[12]</sup>,表明浮游植物可能是太湖北部湖区水体 DAAs 的主要来源。

Cowie 发现,尽管维管植物以及沉水植物的氨基酸含量较高,但是其所含氨基酸对有机碳氮的贡献却远低于浮游植物、浮游动物、细菌以及真菌( $P < 0.001$ )。而且水生植物上附着着大量的固着生物、细菌以及异养藻类,一旦水生植物释放出 DOM,就会很快被它们吸收利用<sup>[20]</sup>。因此对草型区东太湖而言,尽管生长着大量的沉水植物可以作为 DAAs 的来源,但其含量以及对活性有机碳氮的贡献却并不大,这可能也是造成东太湖草型湖区活性 DOM 含量较低的原因之一。

在 3 个湖区中,南太湖的 DAAs、AA-C/DOC%、AA-N/DON%均处于低值水平。于 2010 年对太湖水体的 CDOM 荧光特征以及沉积物表层 0—3 cm、底层 18—21 cm 的氨基酸特征进行的调查结果均显示<sup>[9,12]</sup>,南太湖无论是水体的 CDOM、DOC 和 COD 等反映 DOM 质量的参数,还是沉积物中 OC、TN、AAs 等值都显著低于其他湖区( $P < 0.01$ ),这表明南部湖区历史上就属于有机质含量少而且组分多为难降解物质的湖区类型。主要原因在于南部湖区多为高山入湖河流,土地利用类型则以山区林地、农田为主,高山区较高的海拔以及陡峭的河床梯度截留稀释河流中的污染物,使得外源输入的有机污染物在输入湖泊之前就已经被充分降解,留下较难降解的有机物质进入南部湖区。

北太湖与其他两个湖区的 DAAs 组分特征也存在较大的差异。北部湖区以 PHE 和 LYS 两种氨基酸为主,而在南部湖区和东部湖区,LYS 均为主要组分。从属性上看,PHE 属于芳香族氨基酸,相对而言比较容易被生物降解利用,因此北部湖区较高的 PHE 含量一定程度上也反映出藻类降解产物的高生物活性。此外,芳香环氨基酸在不同湖区之间表现出极显著差异( $P < 0.01$ ),北太湖显著高于南太湖,东太湖则最低,这与太湖的 DOM 荧光特征调查结果很相似<sup>[21]</sup>,而文献也证实 DOM 的类蛋白荧光主要来源于水体中游离或结合态的芳香环氨基酸<sup>[15]</sup>。

### 3.2 氨基酸示踪活性有机质的环境指示作用

DOM 广泛存在于各类水体,其含有丰富碳、氮、磷等湖泊生源要素,在湖泊各种物理、化学和生物以及蓝藻水华暴发过程中都扮演了非常重要的角色<sup>[22-23]</sup>,其生物可利用性及其对湖泊富营养化的影响机制已成为国际上的研究热点<sup>[24]</sup>。然而由于结构的高度复杂性以及技术手段的限制,目前已确认的化学组分只占总有机质的不到 25%,而氨基酸是其中的主要活性成分<sup>[25]</sup>。Amon 通过藻类 DOM 降解实验,发现 AA-C%与生物可利用的活性 DOC(% liable DOC)之间存在显著的线性相关关系( $r^2 = 0.95, P < 0.05$ )<sup>[26]</sup>,为利用氨基酸含量估算活性有机质及其生物可利用性提供了理论基础。

在本文中尝试借鉴此公式对太湖不同湖区的活性 DOC 相对含量进行计算,得出北太湖的% liable DOC 取值范围在 -0.97%—46.60%之间,而南太湖和东太湖则均为负值,北太湖的% liable DOC( $(17.65 \pm 17.84)\%$ )显著高于南太湖( $(-11.00 \pm 2.00)\%$ )和东太湖( $(-10.54 \pm 1.62)\%$ )( $P < 0.001$ ),从结果上可以看出藻类来源的 DOM 在生物可利用程度上确实要高于水生植物来源。但由于东太湖是草型湖区,通过单纯的藻降解实验建立的经验公式可能并不适用于东太湖,需要在今后的研究工作中进行草、藻的降解实验,建立适用于太湖不同湖区或不同来源的经验公式。

## 4 结论

(1) 3 个湖区的溶解性氨基酸含量和组分都存在显著差异,其中藻型区北太湖水体中的溶解性氨基酸以及对有机碳氮的贡献都明显高于其他湖区,而且富含大量的高生物活性芳香族氨基酸。表明水体的 DAAs 组分特征能对湖泊营养状态及生态类型的变化做出响应,可以作为指示湖泊营养状态的生物标记物。

(2) DAAs 可以作为 DOM 生物降解性的评价参数,反映湖泊水体中与生物活性相关的 DOM 动态变化。根据氨基酸对有机碳的贡献估算出北太湖的活性 DOC 相对含量为  $(17.65 \pm 17.84)\%$ ,显著高于南太湖和东太湖。但还需要在今后的研究工作中进行草、藻的降解实验,建立适用于太湖的经验公式。

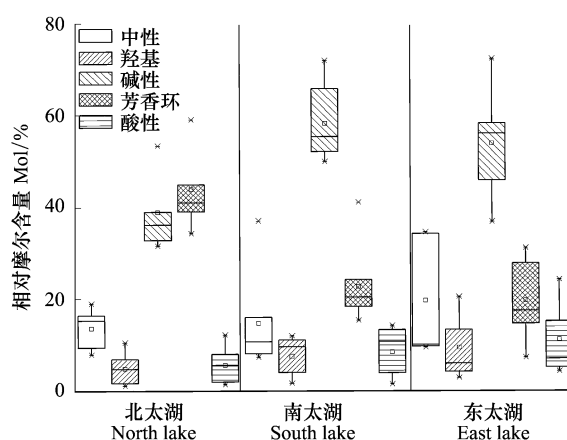


图3 不同湖区的氨基酸属性特征

Fig.3 The Attribute property of Amino acid in three regions

## References:

- [ 1 ] Simon M, Grossart H P, Schweitzer B, Ploug H. Microbial ecology of organic aggregates in aquatic ecosystems. *Aquatic Microbial Ecology*, 2002, 28(2): 175-211.
- [ 2 ] Turner J T. Zooplankton fecal pellets, marine snow and sinking phytoplankton blooms. *Aquatic Microbial Ecology*, 2002, 27(1): 57-102.
- [ 3 ] Burdige D J, Zheng S L. The biogeochemical cycling of dissolved organic nitrogen in estuarine sediments. *Limnology and Oceanography*, 1998, 43(8): 1796-1813.
- [ 4 ] Stepanauskas R, Leonardson L, Tranvik L J. Bioavailability of wetland-derived DON to freshwater and marine bacterioplankton. *Limnology and Oceanography*, 1999, 44(6): 1477-1485.
- [ 5 ] Dauwe B, Middelburg J J. Amino acids and hexosamines as indicators of organic matter degradation state in North Sea sediments. *Limnology and Oceanography*, 1998, 43(5): 782-798.
- [ 6 ] Dauwe B, Middelburg J J, Herman P M J, Heip C H R. Linking diagenetic alteration of amino acids and bulk organic matter reactivity. *Limnology and Oceanography*, 1999, 44(7): 1809-1814.
- [ 7 ] Meckler A N, Schubert C J, Cowie G L, Peiffer S, Dittrich M. New organic matter degradation proxies: Valid in lake systems?. *Limnology and Oceanography*, 2004, 49(6): 2023-2033.
- [ 8 ] Salter I, Kemp A E S, Lampitt R S, Gledhill M. The association between biogenic and inorganic minerals and the amino acid composition of settling particles. *Limnology and Oceanography*, 2010, 55(5): 2207-2218.
- [ 9 ] Yao X, Zhu G W, Cai L L, Zhu M Y, Zhao L L, Qin B Q. Geochemical characteristics of amino acids in sediments of Lake Taihu, a large, shallow, eutrophic freshwater lake of China. *Aquatic Geochemistry*, 2012, 18(3): 263-280.
- [ 10 ] Ma J R, Deng J M, Qin B Q, Long S X. Progress and prospects on cyanobacteria bloom-forming mechanism in lakes. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(10): 3020-3030.
- [ 11 ] Qin B Q, Xu P Z, Wu Q L, Luo L C, Zhang Y L. Environmental issues of Lake Taihu, China. *Hydrobiologia*, 2007, 581(1): 3-14.
- [ 12 ] Yao X, Zhu G W, Qin B Q. Distribution of dissolved amino acids and its environmental significance in water of Taihu Lake, China. *China Environmental Science*, 2010, 30(10): 1402-1407.
- [ 13 ] Tappin A D, Millward G E, Fitzsimons M F. Distributions, cycling and recovery of amino acids in estuarine waters and sediments. *Environmental Chemistry Letters*, 2007, 5(3): 161-167.
- [ 14 ] Thomas D N, Lara R J. Photodegradation of algal derived dissolved organic carbon. *Marine Ecology-Progress Series*, 1995, 116: 309-310.
- [ 15 ] Yamashita Y, Tanoue E. Chemical characteristics of amino acid-containing dissolved organic matter in seawater. *Organic Geochemistry*, 2004, 35(6): 679-692.
- [ 16 ] Ogawa H, Tanoue E. Dissolved organic matter in oceanic waters. *Journal of Oceanography*, 2003, 59(2): 129-147.
- [ 17 ] Davis J, Benner R. Seasonal trends in the abundance, composition and bioavailability of particulate and dissolved organic matter in the Chukchi/Beaufort Seas and western Canada Basin. *Deep Sea Research Part II*, 2005, 52(24/26): 3396-3410.
- [ 18 ] Thomas J D, Eaton P. The spatio-temporal patterns and ecological significance of free amino acids and humic substances in contrasting oligotrophic and eutrophic freshwater ecosystems. *Hydrobiologia*, 1996, 332(3): 183-211.
- [ 19 ] Cowie G L, Hedges J I. Sources and reactivities of amino acids in a coastal marine environment. *Limnology and Oceanography*, 1992, 37(4): 703-724.
- [ 20 ] Cowie G L. Biochemical indicators of diagenetic alteration in natural organic matter mixtures. *Nature*, 1994, 369(6478): 304-307.
- [ 21 ] Yao X, Zhang Y L, Zhu G W, Qin B Q, Feng L Q, Cai L L, Gao G. Resolving the variability of CDOM fluorescence to differentiate the sources and fate of DOM in Lake Taihu and its tributaries. *Chemosphere*, 2011, 82(2): 145-155.
- [ 22 ] Biers E J, Zepp R G, Moran M A. The role of nitrogen in chromophoric and fluorescent dissolved organic matter formation. *Marine Chemistry*, 2007, 103(1/2): 46-60.
- [ 23 ] Wu F C, Wang L Y, Li W, Zhang R Y, Fu P Q, Liao H Q, Bai Y C, Guo J Y, Wang J. Natural organic matter and its significance in terrestrial surface environment. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(1): 1-12.
- [ 24 ] Worsfold P J, Monbet P, Tappin A D, Fitzsimons M F, Stiles D A, McKelvie I D. Characterisation and quantification of organic phosphorus and organic nitrogen components in aquatic systems: A review. *Analytica Chimica Acta*, 2008, 624(1): 37-58.
- [ 25 ] Wu F C, Jin X C, Zhang R Y, Liao H Q, Wang S R, Jiang X, Wang L Y, Guo J Y, Li W, Zhao X L. Effects and significance of organic nitrogen and phosphorous in the lake aquatic environment. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(1): 1-7.
- [ 26 ] Amon R M W, Fitznar H P, Benner R. Linkages among the bioreactivity, chemical composition, and diagenetic state of marine dissolved organic matter. *Limnology and Oceanography*, 2001, 46(2): 287-297.

## 参考文献:

- [ 10 ] 马健荣, 邓建明, 秦伯强, 龙胜兴. 湖泊蓝藻水华发生机理研究进展. *生态学报*, 2013, 33(10): 3020-3030.
- [ 12 ] 姚昕, 朱广伟, 秦伯强. 太湖北部水体溶解性氨基酸分布特征及其环境意义. *中国环境科学*, 2010, 30(10): 1402-1407.
- [ 23 ] 吴丰昌, 王立英, 黎文, 张润宇, 傅平青, 廖海清, 白英臣, 郭建阳, 王静. 天然有机质及其在地表环境中的重要性. *湖泊科学*, 2008, 20(1): 1-12.
- [ 25 ] 吴丰昌, 金相灿, 张润宇, 廖海清, 王圣瑞, 姜霞, 王立英, 郭建阳, 黎文, 赵晓丽. 论有机氮磷在湖泊水环境中的作用和重要性. *湖泊科学*, 2010, 22(1): 1-7.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013( Semimonthly)

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                   |                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Development of agroecology in USA .....                                                                                                                                           | HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)                |
| Research progress on water footprint .....                                                                                                                                        | MA Jing, PENG Jian (5458)                                 |
| Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China .....                                                | SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)                 |
| Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality .....                                                                                 | DONG Lei, LI Jiyue (5477)                                 |
| Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications .....                                                                                                | ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484) |
| Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region .....                                 | WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)           |
| Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas .....                                                                                                      | FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)           |
| Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China .....                                                                           | WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)                |
| The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae) .....                                                | SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)      |
| Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients .....                                                                     | SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)        |
| Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i> .....                                                                       | WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)            |
| Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO <sub>2</sub> concentrations .....                  | YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)           |
| The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field .....                                                                                  | QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)             |
| Effects of nitrogen management on NH <sub>3</sub> volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields .....                                                  | MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)          |
| Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear .....                                                    | SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)                 |
| Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings .....                                         | ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)            |
| Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China ..... | WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)   |
| Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method .....                                                                 | WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)     |
| Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands .....                                              | CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)      |
| Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China .....                               | XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)       |
| Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area .....                                                                                       | ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)             |
| Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand .....                                              | GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)        |
| Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe .....                                                                                  | WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)             |
| Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method .....                                  | HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636) |
| Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species .....                                                                                                  | HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)             |
| Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area .....                                                                              | ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)           |
| Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition .....                                                                                   | LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)         |
| The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China .....                                                               | YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)     |
| Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species .....                                                    | ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)       |
| Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco .....            | WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)            |
| Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i> .....                                                             | GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)        |
| Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i> .....                                              | WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)                 |

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ..... ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi ..... WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain ..... LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin ..... WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession ..... FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert ..... LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake ..... DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community ..... CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China ..... LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem ..... PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China ..... YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China ..... WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years ..... LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huajun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands ..... XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta ..... WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 ..... JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China ..... QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ..... ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert ..... FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city ..... XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong ..... WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) ..... LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season ..... JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian ..... LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example ..... XU Fei, CAI Tiju, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China ..... LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city ..... LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 2013)

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                   |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel: (010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn |
| 主 编           | 王如松                                                                                                                | Editor-in-chief | WANG Rusong                                                                                                                                                                       |
| 主 管           | 中国科学技术协会                                                                                                           | Supervised by   | China Association for Science and Technology                                                                                                                                      |
| 主 办           | 中国生态学学会<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                        | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                  |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717                                                                       | Published by    | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                 |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                          |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail: journal@ cspg. net                       | Distributed by  | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel: (010)64034563<br>E-mail: journal@ cspg. net                                             |
| 订 购           | 全国各地邮局                                                                                                             | Domestic        | All Local Post Offices in China                                                                                                                                                   |
| 国外发行          | 中国国际图书贸易总公司<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China                                                                                         |
| 广告经营<br>许 可 证 | 京海工商广字第 8013 号                                                                                                     |                 |                                                                                                                                                                                   |



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元