

滇池沉积物总氮的时空变化特征研究^①

陈永川, 汤利*, 张德刚, 李杰, 周军, 管锡鹏

(云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

摘要: 采用 GPS 定位, 对滇池海埂、斗南、罗家村、新街、昆阳等 5 个代表性样点沉积物总 N 含量进行为期 1 年的动态监测, 分析了不同区域、不同层次、不同时期滇池沉积物总 N 的变化。结果表明全湖全年沉积物总 N 的平均含量为 4.91 g/kg, 年变化范围是 4.13 ~ 5.41 g/kg, 呈现明显的季节性变化, 总体趋势夏季高、冬季低, 但不同区域变化高峰和趋势不同。沉积物总 N 层次变化差异显著, 表现为表层 > 中层 > 底层, 各层次年变化范围分别为表层 3.54 ~ 9.10 g/kg、中层 2.72 ~ 8.04 g/kg、底层 1.23 ~ 5.37 g/kg。各区域沉积物总 N 平均含量以海埂和罗家村最高, 斗南和新街较低。

关键词: 滇池; 沉积物; 总氮; 时空变化

中图分类号: X524

湖泊沉积物是湖泊营养物质的重要蓄积库。沉积物在湖泊养分循环和水质富营养化过程中起着重要的作用^[1], 在一定条件下, 沉积物中的营养盐有可能成为上覆水体富营养化的主导因子^[2-3]。

沉积物中 N、P 等营养物质相对于水体的汇/源转换, 对湖泊生态系统具有重要意义。研究湖泊中 N 的时空变化是准确理解沉积物-水体系统中 N 素地球化学循环及其环境影响的前提^[4-6]。国外有关各湖泊水体-沉积物中 N 的分布、形态和季节性变化, 沉积物 N 的释放及影响沉积物 N 释放的环境等均有研究报道^[7-9], 我国对太湖等湖泊中有关沉积物 N 的分布、沉积物-水体界面 N 的迁移、沉积物 N 释放的模拟已有较多的研究^[3, 5-6, 10-12]。目前关于滇池 P 的物质来源和赋存形态、沉积物中细菌组成、有机质的空间分布也有研究^[13-15], 但是对沉积物 N 的研究相对较少, 目前虽有对滇池沉积物总 N 的空间分布的研究, 但是只是针对某一时期, 没有考虑 N 的季节性动态变化^[16-17]。

有关滇池不同区域沉积物 N 的时空动态变化、湖内沉积物 N 的迁移和转化、水体-沉积物界面的 N 交换及滇池内源 N 污染的时空变化特征等, 均尚未见系统报道。因此在系统研究滇池水体和沉积物 P 的时空分布特征的基础上^[18-19], 本文通过对滇池 5 个位点沉积物 N 的动态研究, 探讨了滇池不同区域、不同时期、不同层次沉积物中 N 的分布特征和时空变化规律, 以期阐明滇池沉积物 N 内源污染负荷及沉积物对藻类生长爆发的影响, 提高滇池富营养化治理成效提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究位点及采样方法

采用 GPS 定位, 在滇池选择 5 个代表性的研究位点, 分别是海埂 (N24°54.857', E102°39.837'), 斗南 (N24°52.662', E102°45.237'), 罗家村 (N24°48.799', E102°41.789'), 新街 (N24°46.157', E102°41.868'), 昆阳 (N24°43.599', E102°37.362')。其中海埂是藻类发生的重灾区, 城市污水排放区; 斗南是花卉蔬菜主产区; 罗家村为滇池中部; 新街是水稻主产区; 昆阳是磷矿生产区。进行为期 1 年的沉积物定位采样, 研究位点分布如图 1。

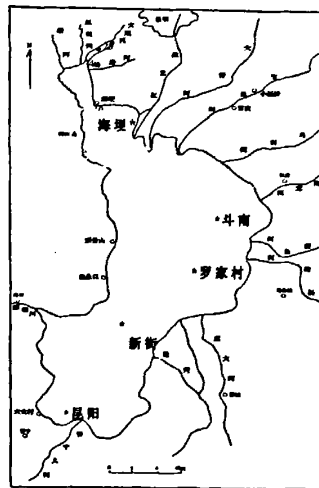


图 1 滇池取样与监测位点

Fig. 1 Sampling and monitoring sites in Dianchi Lake

①基金项目: 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金项目和教育部春晖计划项目资助。

* 通讯作者 (tang11@yahoo.com)

作者简介: 陈永川 (1977—), 男, 云南镇雄人, 博士研究生, 主要从事植物营养与环境的研究。E-mail: chen Yongchuan774@yahoo.com.cn

从 2003 年 5 月至 2004 年 5 月进行 1 年的定位采样, 每 1 位点每次取 3 个重复, 每月采样 1 次。沉积物样品用 Uwittec 重力采样器 (奥地利) UVP 管原位采取, 分表层 (0~5 cm)、中层 (5~10 cm)、底层 (10~20 cm) 3 层分取沉积物样品。每 1 个点位重复随机采 10 管按同 1 位点同 1 层次取样混合, 作为 1 个复合样品, 进行误差控制。

1.2 分析方法

沉积物样品风干过筛后, 采用重铬酸钾-硫酸消煮凯氏定氮法测定沉积物总 N 含量^[20]。

1.3 数据统计

数据应用 SPSS11.5 统计分析软件分析, Duncan 检验方法进行多重比较, 差异显著性在 $p < 0.05$ 水平。

2 结果与分析

2.1 滇池沉积物总 N 的年变化特征

表 1 为滇池全湖沉积物总 N 的年变化特征, 为全湖 5 个研究位点, 每位点每月采样 3 次重复, 一年 12 个月的平均值 ($n = 5 \times 3 \times 12 = 180$)。结果表明全湖沉积物 (0~20 cm) 总 N 的平均含量为 4.91 g/kg, 沉积物总 N 最高为 9.10 g/kg, 最低为 1.23 g/kg, 变异范围是 24%~34%。

表 1 滇池全湖沉积物总 N 的年变化特征 (g/kg)

Table 1 Annual variation of total nitrogen in sediment of Dianchi Lake

变化特征	表层	中层	底层
全湖年平均	6.20 ± 1.50	5.25 ± 1.36	3.29 ± 1.13
年变化	5.29~6.87	4.48~5.77	2.63~4.40
最大值	9.10	8.04	5.37
最小值	3.54	2.72	1.23
标准变异 (%)	24	26	34

滇池沉积物 N 呈现明显的层次变化, 各区域均以底层变异较大, 这是因为底层 N 含量相对较小, N 容易从表层和中层迁移到底层, 季节性变化大。各区域 N 含量均表现为表层 (0~5 cm) > 中层 (5~10 cm) > 底层 (10~20 cm)。表层、中层、底层总 N 平均含量分别在 5.29~6.87、4.48~5.77 和 2.63~4.40 g/kg 之间变化。

2.2 滇池沉积物总 N 的区域变化特征

图 2 为滇池不同区域、不同层次、不同季节沉积物总 N 的变化特征, 结果表明不同区域、不同层次、不同季节沉积物总 N 存在明显的差异。

沉积物总 N 含量以斗南和新街相对较低, 海埂和罗家村相对较高。沉积物 (0~20 cm) 总 N 的年平均含量分别为罗家村 (6.28 g/kg) > 海埂 (5.93 g/kg) > 昆阳 (5.12 g/kg) > 新街 (4.21 g/kg) > 斗南 (3.03 g/kg)。各位点沉积物总 N 含量均以表层 > 中层 > 底层, 其中海埂、斗南、罗家村、新街和昆阳表层沉积物总 N 含量分别为 6.29~8.00、3.40~4.59、6.73~9.10、4.29~6.13 和 5.50~7.47 g/kg; 中层总 N 含量分别为 5.70~6.86、2.72~3.92、5.12~8.04、3.52~5.28 和 4.18~6.52 g/kg; 底层沉积物总 N 含量分别为 3.96~5.37、1.23~2.12、2.58~5.28、2.16~3.61 和 2.12~4.39 g/kg。不同层次变异范围以海埂相对较小, 其他位点变异相对较大, 海埂、斗南、罗家村、新街和昆阳位点不同层

次变异范围分别为 7%~12%、9%~19%、10%~19%、10%~15% 和 8%~19%。

除海埂底层之外, 各位点沉积物总 N 含量的总体变化趋势一致, 但不同位点、不同层次的变化高峰不同。除斗南外, 各位点沉积物总 N 受季节的影响趋势一致, 其含量表层和中层均以 2003 年 5—8 月相对较高, 2004 年 1—3 月相对较低; 而底层以 11 月相对较高。由于底层沉积物 N 含量较中层和表层低, N 的移动季节变化明显, 各位点沉积物总 N 的含量变异均以底层较大。由于不同位点的营养盐来源不同, 各位点各层次沉积物 N 的含量高低变化不同 (图 2)。

海埂位点受季节变化的影响, 表层沉积物总 N 含量最大值出现在 2003 年 6 月, 2004 年 1—5 月含量相对较低, 其中 2004 年 4 月含量最低, 以 2003 年 5—9 月最高, 11 月份也有较高值。中层沉积物总 N 含量以 2003 年 5 月最高, 2003 年 10 月和 2004 年 2 月最低, 其他月的变化趋势不大。底层沉积物总 N 含量以 2003 年 9—11 月最高, 2003 年 5 月最低, 受城市污水排放和藻类生长爆发和死亡的影响, 海埂位点沉积物总 N 含量比罗家村低, 比其他位点高。

斗南与海埂位点的变化趋势相同, 由于受雨季影响, 各层总 N 含量均以 2003 年 5 月至 2004 年 1 月相对较高, 2004 年 2—5 月相对较低, 但是斗南沉积物深度较浅、水体扰动大, N 不容易沉积, N 移动相对

较强，其沉积物 N 含量相对其他位点低，年变异比海埂位点大。

罗家村沉积物 N 含量与其他位点季节变化相同，其中表层以 2003 年 7 月最高，2004 年 2 月最低；中层沉积物总 N 的含量以 2003 年 6 月最高，2004 年 3 月最低；底层沉积物总 N 含量以 2003 年 11 月最高，2004 年 1 月最低。但是由于该点属于滇池中部，受季风影响，属于各方沉积物的汇集地，大量的沉积物迁移到这里，沉积物厚度较深、水体较深，底层沉积物受水体扰动小，同时底层水体藻类的含量比中层高，大量的藻体多年沉积，因此沉积物 N 含量比其他位点高。

新街与斗南位点相似，受雨季影响，农田中 N 迁

移，各层总 N 含量均以 2003 年 5 月至 2004 年 1 月相对较高，2004 年 2—5 月含量相对较低。由于沉积物厚度浅，水体较浅 (3~4 m)，水体扰动较大，沉积物不易被沉积，沉积物 N 含量比斗南位点高，但比其他位点低。

昆阳位点也与其他位点一样，沉积物 N 含量变化受季节的影响。其中表层以 2003 年 6 月最高，2004 年 2 月最低；中层以 2003 年 8 月最高，2003 年 10 月最低；底层以 2003 年 11 月最高，2004 年 2 月最低。但是大量的 N 伴随磷矿废水迁移到沉积物中，死亡藻体多年沉积，沉积物总 N 含量比海埂、罗家村低，但比斗南和新街位点高。

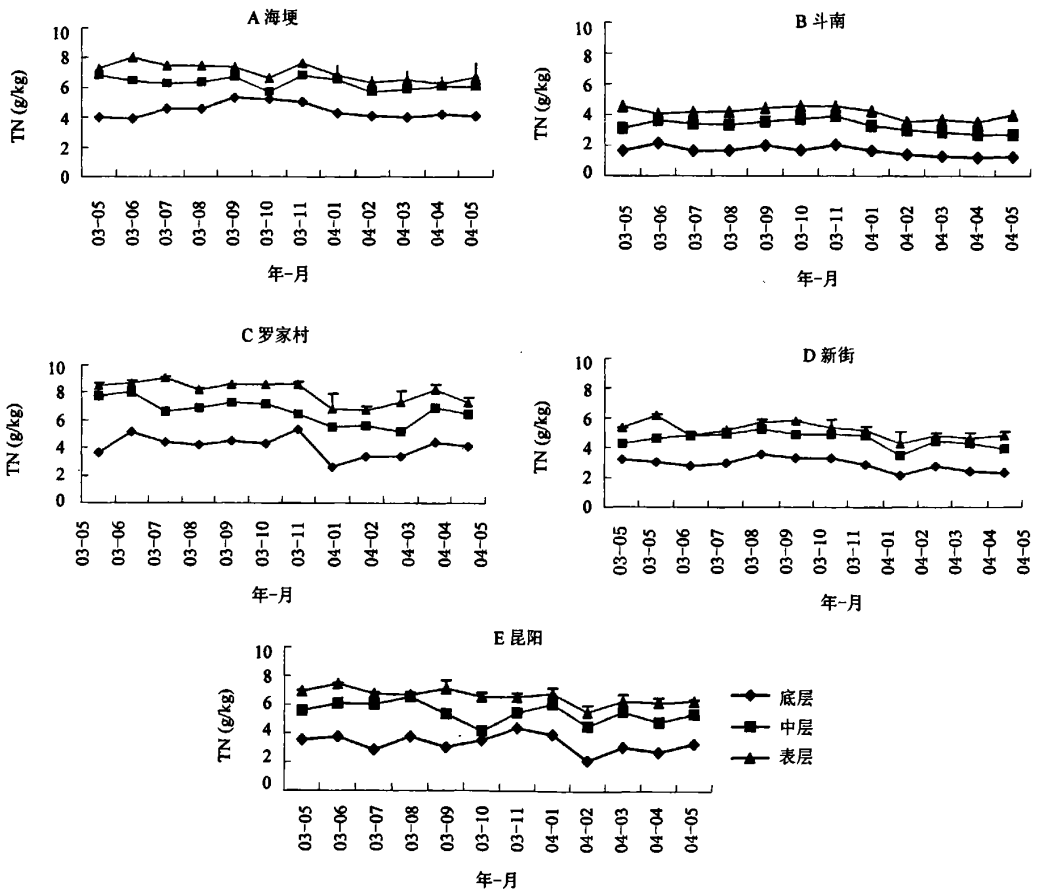


图 2 滇池沉积物总 N 的区域动态变化

Fig. 2 Dynamic variation of total nitrogen in sediments in different sites of Dianchi Lake

2.3 滇池沉积物总 N 含量的空间变化特征

表 2 为滇池 5 个研究位点沉积物总 N 的年平均均值 (1 年 12 个月采样, 每 1 位点每月采样 3 个重复样品,

每 1 个样品 2 次平行测定, $n = 12 \times 3 \times 2 = 72$)。不同位点同一层次和同一位点不同层次沉积物总 N 含量统计分析结果表明, 滇池不同区域间沉积物总 N 含量存在

着显著的差异,不同区域沉积物的总 N 含量均以表层 > 中层 > 底层 (表 2)。其中表层沉积物总 N 年平均含量以罗家村位点最高,斗南位点最低,各位点依次为罗家村 > 海埂 > 昆阳 > 新街 > 斗南。中层沉积物总 N 年平均含量以罗家村和海埂最高,斗南位点最低,依次为

罗家村和海埂 > 昆阳 > 新街 > 斗南。底层沉积物总 N 年平均含量以海埂最高,斗南最低,依次为海埂和罗家村 > 昆阳和新街 > 斗南。沉积物 (0~20 cm) 总 N 的年平均含量分别是罗家村 (6.28 g/kg) > 海埂 (5.93 g/kg) > 昆阳 (5.12 g/kg) > 新街 (4.21 g/kg) > 斗南 (3.03 g/kg)。

表 2 滇池沉积物总 N 含量的空间变化特征 (g/kg)

Table 2 Spatial dynamic variation of total nitrogen in sediment of Dianchi Lake

沉积物层次	海埂	斗南	罗家村	新街	昆阳
表层	7.06 ± 0.56 aB	4.14 ± 0.38 aE	8.06 ± 0.80 aA	5.18 ± 0.53 aD	6.58 ± 0.51 aC
中层	6.28 ± 0.41 bA	3.29 ± 0.39 bD	6.66 ± 0.89 bA	4.56 ± 0.48 bC	5.45 ± 0.69 bB
底层	4.45 ± 0.51 cA	1.65 ± 0.31 cC	4.11 ± 0.76 cA	2.89 ± 0.44 cB	3.33 ± 0.62 cB

注:多重比较以大写字母为不同位点同一层次间的比较,小写字母为同一位点不同层次间的比较;其中字母相同表示在 $p < 0.05$ 水平差异不显著。

3 讨论

3.1 滇池内源 N 负荷

滇池全年沉积物总 N 的平均含量为 4.91 g/kg, 年变化范围是 4.13 ~ 5.41 g/kg。最高含量达 9.10 g/kg, 最低含量为 1.23 g/kg; 而太湖沉积物总 N 的变化范围是 0.43 ~ 0.93 g/kg, 平均含量为 0.64 g/kg, 沉积物总 N 含量滇池明显高于太湖^[21]。海埂和斗南水体-沉积物 N 的迁移规律特征明显, 水体中总 N 的含量与沉积物中总 N 的动态变化趋势一致, 而其他位点水体中 N 的动态变异较大, 但是水体中 N 含量高时水体中藻的含量也高, 海埂位点沉积物-水体界面 N 的迁移对藻类生长的影响最为明显, 表明滇池沉积物 N 可能对滇池藻类生长及水体富营养化起重要作用, 有关沉积物 N 的迁移转化在滇池水环境中的作用有待于进一步研究。

3.2 滇池沉积物总 N 的空间分布

滇池沉积物总 N 呈现着明显的水平区域性、垂直性空间变化。海埂主要是城市污水排放到水体中, 其污染物中有机物占大部分, 更易沉积下来, 滇池沉积物总 N 含量由表层到底层显著降低的分布趋势表明, 随着滇池水体近年来富营养化程度的提高, 沉积物 N 的累积不断增多, 尤其是近年来随着城市的发展, 城市污水大量被排放到滇池中, 海埂沉积物 N 逐年增多。同时夏秋两季海埂大量的藻爆发, 冬季大量的藻死亡沉积, 沉积物 N 也被逐年累积。罗家村属于滇池中部, 湖水较深 (6~7 m), 水体扰动较小, 是各方向沉积物的汇集地, 由于沉积物多年的汇集, 沉积物厚度较深, 底层水体藻体死亡, 因而沉积物具有较高的总 N 分布, N 的积累较多。而斗南和新街主要是蔬菜花卉和水稻的主产区, 虽然存在盲目过量施用 N、P 肥问题^[22], 但斗南和新街沉积物深度较浅 (沉积物深度 < 30 cm), 属于迎风区, 其水体扰动较大, 沉积物沉积的时间较

短, N 的移动性较强, 外源 N 主要以无机态 N 迁移到水体中, 因而沉积物总 N 含量显著低于其他位点。昆阳水体扰动小, 但是大量的 N 伴随磷矿废水排放到滇池中, 因此其 N 的含量比斗南和新街高, 而较海埂和罗家村低。

3.3 滇池沉积物总 N 的季节变化

本研究表明, 滇池沉积物 N 呈现着明显的季节性变化。滇池沉积物总 N 含量尤其是表层沉积物总 N 含量总体趋势是夏季较高、冬季较低, 与水体 N 的变化趋势一致。这可能是因为夏季雨水较多, 导致城市污水、农田养分及面上水土流失等外部颗粒态 N 及有机物随雨水迁移到滇池中, 导致水体和沉积物总 N 含量特别是表层含量增加; 也可能与蓝藻的生长和藻华的爆发密切相关。有关滇池蓝藻的时空分布特征及沉积物 N 转化与藻类生长的相互作用还有待于进一步研究。

4 结论

通过滇池 5 位点 1 年的动态分析, 表明滇池不同层次、不同季节、不同区域沉积物总 N 呈明显的差异, 沉积物总 N 全年全湖平均含量在 4.13 ~ 5.41 g/kg 之间变化, 总体趋势是夏秋两季高、冬季低。沉积物总 N 含量的垂直分布为表层 > 中层 > 底层。5 位点 1 年内底层、中层和表层沉积物总 N 含量的变化为 1.23 ~ 9.10 g/kg, 各区域沉积物总 N 含量以罗家村和海埂最高, 斗南最低。滇池不同区域沉积物 (0~20 cm) 总 N 的含量分布依次为罗家村 (6.28 g/kg) > 海埂 (5.93 g/kg) > 昆阳 (5.12 g/kg) > 新街 (4.21 g/kg) > 斗南 (3.03 g/kg)。海埂和昆阳沉积物总 N 变异比其他区域相对较低。有关沉积物 N 形态的时空动态变化特征、水体-沉积物界面 N 的迁移转化及沉积物 N 对蓝藻爆发和水体环境的影响还需进一步研究。

参考文献:

- [1] Frink CR. Nutrient budget: Rational analysis of eutrophication in Connecticut Lake. *Envir. Sci. Technol.*, 1967, 1: 425-428
- [2] 高丽, 杨浩, 周健民. 湖泊沉积物中磷释放的研究进展. *土壤*, 2004, 36(1): 12-15
- [3] 王少梅. 武汉东湖沉积物中氮和磷释放试验. *水生生物学报*, 1991, 15(4): 379-380
- [4] 陈永川, 汤利. 沉积物-水体界面氮磷的迁移转化规律研究进展. *云南农业大学学报*, 2005, 20(4): 527-533
- [5] 王雨春, 万国江, 尹澄清, 黄荣贵. 红枫湖、百花湖沉积物全氮、可交换态氮和固定铵赋存特征. *湖泊科学*, 2002, 14(4): 301-309
- [6] 杨龙元, 蔡启铭, 秦伯强, 郑循华. 太湖梅梁湾沉积物-水界面氮迁移特征初步研究. *湖泊科学*, 1998, 10(4): 41-47
- [7] Jarvie HP, Whitton BA, Neal C. Nitrogen and phosphorus in east coast British rivers: Speciation, sources and biological significance. *The Science of the Total Environment*, 1998, 210/211: 79-109
- [8] De Casabianca ML, Laugier T, Marinho-Soriano E. Seasonal changes of nutrients in water and sediment in a Mediterranean lagoon with shellfish farming activity (Thau Lagoon, France). *ICES Journal of Marine Science*, 1997, 54: 905-916
- [9] Denis L, Grenz C. Spatial variability in oxygen and nutrient fluxes at the sediment-water interface on the continental shelf in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Oceanologica Acta*, 2003, 26: 373-389
- [10] 范成新, 秦伯强, 孙越. 梅梁湖和五里湖水-沉积物界面物质交换. *湖泊科学*, 1998, 10(1): 53-58
- [11] 范成新, 杨龙元, 张路. 太湖底泥及其间隙水中氮磷垂直分布及相互关系分析. *湖泊科学*, 2000, 12(4): 359-366
- [12] 张斌亮, 刘敏, 侯立军, 刘巧梅, 欧冬妮, 刘云翔. 上海滨岸沉积物、上覆水中氮含量及时空变化. *长江流域资源与环境*, 2002, 11(3): 250-254
- [13] Gao L, Yang H, Zhou JM, Lv JJ. Lake Sediments from Dianchi Lake: A phosphorus sink or source. *Pedosphere*, 2004, 14(4): 483-490
- [14] 夏学惠, 东野脉心, 周建明, 田升平, 张灼, 彭彦华. 滇池现代沉积物中磷的地球化学及其对环境的影响. *沉积学报*, 2002, 20(3): 416-420
- [15] 彭丹, 金峰, 吕俊杰, 李仁英, 杨浩. 滇池底泥中有机质的分布状况研究. *土壤*, 2004, 36(5): 568-572
- [16] Lv JJ, Yang H, Gao L, Yu TY. Spatial variation of P and N in water and sediments of Dianchi Lake, China. *Pedosphere*, 2005, 15(1): 78-83
- [17] 黄丽娟, 常学秀, 刘洁, 王海龙, 赵谨. 滇池水-沉积物界面氮分布特点及其对控制蓝藻水华的意义. *云南大学学报*, 2005, 27(3): 256-260
- [18] 陈永川, 汤利, 谌丽, 李杰. 滇池水体中磷的时空变化特征研究. *农业环境科学学报*, 2005, 24(6): 1145-1151
- [19] 陈永川, 汤利, 张德刚, 李少明, 郑毅. 滇池沉积物总磷的时空分布特征研究. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1): 51-57
- [20] 黄祥飞主编. 湖泊生态调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 2000
- [21] 陆敏, 张卫国, 师育新, 俞立中, 郑祥民. 太湖北部沉积物金属和营养元素的垂向变化及其影响因素. *湖泊科学*, 2003, 15(3): 213-220
- [22] 张维理, 徐爱国, 冀宏杰, Kolbe H. 中国农业面源污染形势估计及控制对策. III. 中国农业面源污染控制中存在的问题分析. *中国农业科学*, 2004, 37(7): 1026-1033

Spatial and Temporal Dynamic Variation of Nitrogen in Sediment of Dianchi Lake

CHEN Yong-chuan, TANG Li, ZHANG De-gang, LI Jie, ZHOU Jun, GUAN Xi-peng

(College of Resources and Environmental Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: The spatial and dynamic variation of total nitrogen contents at different depths of sediments in 5 representative sites of Dianchi Lake (Haigeng, Dounan, Luojiacun, Xinjie, and Kunyang) were studied from May 2003 to May 2004. The results showed that: The average content of sediment total nitrogen was 4.91 g/kg with an annual range of 4.13 ~ 5.41 g/kg. Sediment total nitrogen was influenced obviously by seasons, i.e., high in summer and low in winter. The peak and trend of sediment nitrogen content in different sites and at different layers were significantly different, which showed an order of surface > middle > bottom, varied at 3.54 ~ 9.10 g/kg, 2.72 ~ 8.04 g/kg, 1.23 ~ 5.37 g/kg, respectively. The nitrogen contents were higher in Luojiacun and Haigeng, while lower in Dounan and Xinjie.

Key words: Dianchi Lake, Sediment, Total nitrogen, Temporal and spatial variation