

文章编号: 0254-5357(2005)03-0176-05

永定河沉积物中磷的存在形态及其指示意义

陈红军¹, 黄怀曾², 冯 流¹, 陈 明^{2*}

(1. 北京化工大学化学工程学院, 北京 100029; 2. 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘要: 采集官厅水库的永定河入库口附近沉积物, 采集深度 77 cm, 以 1 cm 做为一个层位单元进行分割, 测定其中 11 个层位的总磷, 同时对这些层位沉积物中二钙结合态磷、八钙结合态磷、铝结合态磷、铁结合态磷进行连续分级提取, 有机磷通过灼烧法测定, 残留态磷由总磷与上述五种形态磷差减确定。结果显示: 沉积物中总磷含量在 580.3 ~ 1276.2 $\mu\text{g/g}$, 主要成分为无机磷, 平均占总磷的比例为 88%; 残留态磷为沉积物中磷的主要形态, 含量占总磷 50% 以上。在沉积物深度 75 ~ 20 cm 的沉积年份中, 永定河向官厅水库输送的残留态磷量不断增加, 且增速逐渐加快, 主要为水土侵蚀的产物。从沉积深度 20 cm 以来的沉积年份里, 总磷的输入量不断减少, 但以二钙结合态磷为主的生物有效磷输入量随总磷的含量降低而持续增加, 主要来自工业和生活污水, 反映了官厅水库上游永定河流域内工业和生活污水排放所占的比重日益增加, 成为官厅水库富营养化污染的主要来源, 以致官厅水库富营养化的趋势增强。

关键词: 永定河; 沉积物; 磷; 官厅水库

中图分类号: Q178.5; O613.62; X132

文献标识码: A

官厅水库位于北京市西北约 80 km 处, 曾经与密云水库共同作为北京市饮用水的地表水水源地。1997 年, 由于水体富营养化等原因被迫退出了北京市的饮用水系统。近年来, 随着经济的发展和人民生活水平的提高, 北京市的需水量不断增加, 重新开发利用官厅水库成为当务之急。

沉积物是湖泊水库营养物质的重要蓄积库, 营养物质在沉积物中不断累积, 形成营养物质的内负荷。沉积物中磷的释放, 又成为上覆水体中磷的重要补给源。不同形态的磷释放能力差别较大, 真正有评价意义的是生物有效磷, 利用沉积物中总磷 (TP) 来评价内负荷对富营养化的影响有失偏颇, 沉积物中生物有效磷对内负荷的影响远比 TP 更为重要, 也更有意义^[1]。

沉积物中 P 的形态多种多样, 一般分为松散结合态磷 (溶解磷和交换态磷)、八钙结合态磷 ($\text{Ca}_8\text{-P}$)、铝结合态磷 (Al-P)、铁结合态磷 (Fe-P)、有机结合态磷 (Org-P) 和残留态磷等 6 种, 其中在我国

北方残留态磷以十钙结合态磷 ($\text{Ca}_{10}\text{-P}$) 为主。Org-P 包括酸提取有机磷 (潜在生物有效态) 和碱提取有机磷 (相对较弱的生物可利用态)^[2]。

松散结合态磷即生物有效磷, CaHPO_4 是其重要组分, 以 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 表示, 由溶度积计算获得的溶解度为 0.086 mg/L, 低于化学上可溶物质的下限 0.1 mg/L, 故称其为不可溶物质, 但又远高于国际上公认的富营养化临界值 0.02 mg/L^[3], 微弱的溶出对富营养化产生巨大的影响。按溶度积顺序排列, 由大至小为: $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 和 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$, 尤其后 4 种磷酸盐的溶度积比 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 小得多。在我国北方, 石灰性土壤决定了水体沉积物中钙结合态磷的含量很高, 如文献[4]在对密云水库沉积物中磷的形态研究中发现: 钙结合态磷的平均含量占 TP 含量的 41.18% ~ 53.73%。 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 在弱碱性状态下是相对活跃的组分, 水中溶解磷浓度易受溶度积相对大的 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 制约, 当 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 达到饱和浓度时, 在相当大的程度上抑制了远比其他溶度积小

收稿日期: 2004-12-07; 修订日期: 2005-03-24

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999045709)

作者简介: 陈红军 (1979-), 男, 河南焦作市人, 硕士, 环境工程专业。

的磷酸盐化合物的溶解,因此又可将 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 归为非稳定态 P,而将 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 和 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 同归为稳定态磷。这与土壤中的划分不同,土壤因植物根系分泌出有机酸类物质可将 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 溶解后吸收,所以这部分也称其为非稳定态磷,还视为生物有效磷^[5]。

沉积物与上覆水体之间不断进行磷的交换,通过测定沉积物中磷的不同化学形态及其含量,对研究水体中磷的形态,探讨水-沉积物界面上磷的迁移与转化和成岩作用中的地球化学行为,对判断磷的来源及其输入量,以及如何控制水库富营养化均具有重要的现实意义。

1 样品采集及分析方法

1.1 样品采集与前处理

沉积物样品采集于北京-怀来铁路桥(八号桥)旁,纬度 $\text{N } 40^{\circ}21.445'$,经度 $\text{E } 115^{\circ}31.563'$ 。采集的样品为柱状,直径约 8 cm,深度 77 cm,从沉积物表层向下每一厘米为一个层位单元样品进行分割,依次编号为 1、2、3...77,共 77 个子样品。

样品冷冻干燥后,以四分法取出不同深度编号为 1(0~1 cm)、2(1~2 cm)、5(4~5 cm)等 11 个层位的适量样品,碾磨过 120 目筛后,样品粒度小于 0.125 mm,储存在样品袋中。

1.2 样品分析方法

从 1980 年 Hieltjes 等^[6]提出 4 步连续提取法至今,沉积物中磷的形态提取方法有数十种。这些方法由于使用的提取剂不同,所提取的磷的形态也不尽相同。本文通过顾益初等^[7]提出的石灰性土壤无机磷分级方法,连续提取沉积物中的 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 、 Org-P 通过灼烧法测定。通过差减法确定残留态磷的含量,比较顾益初等提出的分级方法,这部分磷主要为闭蓄态磷和 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$,其中以 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 为主。

TP:按文献^[8]采用 $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ 消化法。

$\text{Ca}_2\text{-P}$:取 1 g 沉积物样品,加入 50 mL $\text{pH}=7.5$ 的 0.25 mol/L NaHCO_3 溶液,振荡 1 h,离心,取上清液用磷钼蓝法测定。

$\text{Ca}_8\text{-P}$:提取 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 后的沉积物中,加入 25 mL $\varphi=95\%$ 的酒精清洗两次后,加入 50 mL $\text{pH}=4.2$ 的 0.5 mol/L NH_4Ac 溶液,放置 4 h 后,振荡 1 h,离心,取上清液用磷钼蓝法测定。

Al-P :提取 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 后的沉积物,用 25 mL 饱和 NaCl 溶液清洗两次,加入 50 mL $\text{pH}=8.2$ 的 0.5 mol/L NH_4F 溶液,振荡 1 h,离心,取上清液用磷钼蓝法测定。

Fe-P :提取 Al-P 后的沉积物,用 25 mL 饱和 NaCl 溶液清洗两次,加入 50 mL 0.1 mol/L NaOH - 0.1 mol/L Na_2CO_3 溶液,振荡 2 h 后,静置 16 h,再振荡 2 h,离心,取上清液用磷钼蓝法测定。

Org-P :按文献^[9]灼烧法测定。

残留态 P:差减法, $w_{\text{TP}} - (w_{\text{Ca}_2\text{-P}} + w_{\text{Ca}_8\text{-P}} + w_{\text{Al-P}} + w_{\text{Fe-P}} + w_{\text{Org-P}})$ 。

为验证试验方法的可靠性,利用上述方法对同样采集于永定河的 3 个河道沉积物样品的 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 、残留态磷进行连续提取,并用灼烧法测定 Org-P ,其中残留态磷为提取 Fe-P 后的沉积物,用 25 mL 饱和 NaCl 溶液清洗两次后,加入 50 mL 0.5 mol/L H_2SO_4 溶液,振荡 1 h,磷钼蓝法测定。结果显示,TP 含量分别为 549.1、520.9、918.1 $\mu\text{g/g}$,对应的各形态磷之和分别为 557.8、454.0、1067.2 $\mu\text{g/g}$ 。3 个沉积物各形态磷之和与 TP 的相对误差分别为 2%、12% 和 16%,表明方法比较可靠。

2 结果与分析

各形态磷的分析结果如表 1 所示。

2.1 沉积物中各种形态磷的含量

由表 1 可知,沉积物中各层位 TP 含量在 580.3~1276.2 $\mu\text{g/g}$ 。无机磷(IP)是沉积物中磷的主要成分,占 TP 的 70.7%~97.0%。 Org-P 的含量在 18.3~373.7 $\mu\text{g/g}$,占 TP 的 3.0%~29.3%。沉积物中磷的各种形态中,残留态磷占 TP 比例最大,以 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 为主,占 TP 的 49.4%~90.6%; $\text{Ca}_2\text{-P}$ 所占的比例最小,占 TP 的 0.5%~6.5%。大部分层位中 IP 占总磷的百分含量由小到大依次为 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 。饶有趣味的是 5 种无机磷在含量上由低至高的排序,与它们的溶度积由大到小排序一致,也正反映了它们在稳定程度上的顺序,表明磷酸盐类物质在漫长的演变过程中,逐步由易溶向难溶磷酸盐转化。

表1 沉积物各层位中 TP 及各种形态磷的含量
Table 1 The contents of TP and P species in core sediments

编号	取样深度 d/cm	$w(P)/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$							比率/%	
		TP	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Al-P	Fe-P	Org-P	残留态 P	IP ^① /TP	OP ^② /TP
1	0~1	680.1	40.9	44.1	41.8	83.7	132.2	337.4	80.6	19.4
2	1~2	776.1	51.1	40.4	47.1	115.2	138.4	383.9	82.2	17.8
5	4~5	992.7	30.1	35.1	29.3	109.3	63.5	725.4	93.6	6.4
10	9~10	995.0	42.0	34.9	99.1	99.6	149.6	569.8	85.0	15.0
15	14~15	752.8	13.8	16.4	21.4	18.4	62.9	619.9	91.6	8.4
20	19~20	1276.2	8.9	10.4	8.7	9.1	373.7	865.4	70.7	29.3
30	29~30	1196.3	45.5	38.8	51.7	111.2	116.4	832.7	90.3	9.7
40	39~40	855.3	11.0	14.0	15.8	26.2	93.6	694.7	89.1	10.9
50	49~50	635.1	7.6	10.2	6.8	17.6	39.5	553.4	93.8	6.2
60	59~60	580.3	7.3	8.6	21.0	25.4	60.9	457.1	89.5	10.5
75	74~75	607.0	3.0	7.4	11.2	17.1	18.3	550.0	97.0	3.0

① IP 为 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P、Fe-P 及残留态 P 之和；② OP 为有机结合态磷(Org-P)。

2.2 沉积物中 TP 的变化趋势

近些年来,随着人类活动对水体环境的干扰不断加剧,水体富营养化趋势日益加剧。昆明滇池^[10]、东海^[11]、南京玄武湖^[12]等湖泊的沉积物中 TP 含量随深度向上逐渐递增,磷负荷逐年加重,官厅水库的情况略有差异。

沉积物中 TP 含量随深度变化如图 1 所示,由深至浅先增大后减小。在深度 75~30 cm 的沉积物中,从底部向上 TP 含量不断增大,变化曲线呈抛物线型,说明 TP 增加的速度越来越大。在 30~20 cm,沉积物中 TP 含量稍有增加,在 20 cm 处 TP 含量最大,达到 1276.2 μg/g。自 20 cm 向上直至表层,TP 含量除了在 15~5 cm 稍有变化外,总体呈下降趋势,且下降速度很快。到达表层时,TP 含量基本与 70 cm 处相当,减小至 680.1 μg/g。TP 随深度变化的状况,反映了永定河向官厅水库磷输入量的历史变化趋势^[13],在柱状样深度 75~30 cm 的沉积年份中输入的 TP 逐年增加,输入速度也在不断加快。在 20 cm 到达表层的沉积年份中输入的 TP 逐渐减少。

2.3 沉积物中各种形态磷随深度变化趋势

沉积物中各种形态磷随深度变化趋势如图 1 和图 2 所示。

残留态磷含量随深度的变化与 TP 的变化一致。在底层 75 cm 处,残留态磷占 TP 比例的 91%;层位上升至 20 cm 处,达最高值 865.4 μg/g,占 TP 的 68%;随后含量下降,直至表层达最低值,

仅为 337.4 μg/g。尽管不同层位内残留态磷含量出现了波动,但沉积物中以其为代表的主体物源没有太大的变化。

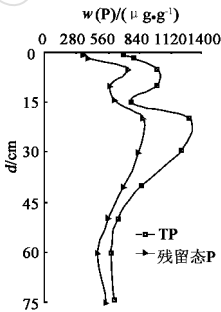


图1 TP、残留态磷含量随深度的变化

Fig. 1 Change of TP, Res-P contents along with depth

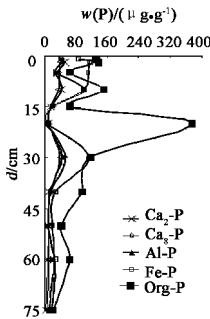


图2 各种形态磷含量随深度的变化

Fig. 2 Change of P species contents along with depth

Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P、Fe-P 含量差别较大,变化复杂。总体上这 4 种形态磷的含量随着深度由深至浅逐渐增大,而不随 TP 含量的变化而变

化。40 cm 以下各种形态磷的含量相对稳定。40 cm 以上各种形态磷的含量急剧上升,30 cm 和 20 cm 深度为两个异常沉积层位,30 cm 处 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 占 TP 比例甚高,20 cm 处 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 占 TP 的比例最低。从 20 cm 到达表层,这 4 种形态磷的含量总体变化趋势均显著增加,占 TP 的比例也相应增加。从 4 种形态磷的绝对增长量来看, Fe-P 增长幅度最大,其后依次为 Al-P 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 和 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 。

Org-P 含量变化也较为复杂,大致分两个阶段。深度大于 40 cm,Org-P 含量呈现增长趋势,在深度 40 cm 上,陡然升高,在 20 cm 处出现一个高峰,达到 $373.7 \mu\text{g/g}$,此后,在 $62.9 \sim 149.6 \mu\text{g/g}$ 内波动。在整个柱状变化中,Org-P 含量呈现逐渐上升的趋势,说明磷污染状况逐渐上升的趋势^[14]。

沉积物中,总体上以残留态为代表的物源占主导地位。在 40 cm 层位以下,沉积物来源比较单一;40 cm 层位以上,沉积物物源发生相当大的变化,由单一变为多元,显示人为活动的痕迹。

3 讨论

磷主要来源于工业和生活污水排放、地表径流、农业污染等。流域内的怀来县是农业大县,河道两侧遍布葡萄园和农田。张家口、宣化等城市工业发达,同时张家口、宣化、下花园、怀来等至今对磷污染未进行有效的处理,工业污水和生活污水直接经河流入库。

一般说来,工业和生活用磷,先将稳定的磷矿物活化后再加利用,排出后进入弱碱性水中,易转化为 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 。官厅水库自建成之日起,水库进水量不断减少,1999 年为 1.46 亿立方米/年,比 20 世纪 50 年代减少 92.3%,尤其是近年来降水量不断减少,与此同时,却有大量的污水经永定河涌入官厅水库。目前,非汛期污水入库量已是清水入库量的两倍^[15]。即使载水的河道,也会因日渐减少的降水和上游来水对污水稀释作用的减弱,河道水中溶解磷浓度易达到饱和状态,利于磷酸盐的积淀,沉积物中以 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 为代表的交换态含量,随着时间的延伸,将逐渐增高。

Org-P 含量的波动或多或少反映了沉积年代里河道中有机质含量的变化。一般认为,沉积物中有机质含量和粘土含量与粒度将直接影响到对 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 的吸附能力,对 11 个层位沉积物的性状进行观察的结果表明:各个层位沉积物

在粒度和组成上有明显差别,与沉积物中 TP 及各种形态磷的柱状变化有很好的相关性。从表层到 20 cm 深度,沉积物中粘粒含量逐渐减少,砂粒的含量增加,粒度变大,其中 1、2、5、10 和 15 cm 沉积物中有团粒结构,粒径小,粘粒含量高,为淤泥质沉积物;20 cm 主要为沙质沉积物,无团状结构,松散;在 30 cm 处,沉积物有团粒结构,砂粒肉眼不可见;40 cm 和 50 cm 处沉积物为沙质沉积物;60 cm 和 75 cm 处沉积物性状介于淤泥质和沙质沉积物之间。同时从 Al-P 、 Fe-P 和 Org-P 含量由深到浅的走势来看,并不完全同步,晚期沉积量与早期沉积量的走势变化,以及出现一些异常现象,可能更多地反映了不同时间内沉积物来源的差异。

残留态磷通常以悬浮颗粒物形式迁移,主要以土壤侵蚀方式随径流进入水库。在底层 75 cm 处,残留态磷占 TP 的比例最大,其它形态磷含量很低,此时土壤侵蚀的贡献率也最大。从其与 TP 的比值来看,含量随时间的推延而降低,反映了土壤侵蚀作用减弱,这与近些年来雨量减少相吻合。

土壤侵蚀泥沙俱下时,夹带着各种形态的磷。TP 随残留磷的上升而上升,下降而下降,呈正相关。其它形态磷均无如此密切的伴生关系,尤其是 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 。如果说,在 40 cm 以下的沉积早期, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量主要为土壤侵蚀的产物,尤其是在 75 cm 深度上,根据沉积物的蓄积量取决于侵蚀量,其物质成分在没有人干扰时,通常较为稳定的原则以及残留态磷占 TP 的比例判断,此深度上的 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量最接近土壤侵蚀遗留下来的正常沉积量。在 20 cm 以上的沉积晚期,土壤侵蚀作用减弱, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 依然保持着增长的势头,且与 TP 比值相应增大,反映了除来自土壤侵蚀外,还有其它物源的介入。近些年来,官厅水库富营养化面临的严峻现实情况,并不随 TP 和残留态磷降低而减弱,与此相反,却伴随非稳定态磷的增长而加剧。沉积物中稳定态磷主要为土壤侵蚀的产物,非稳定态磷主要为工业和生活污染的结果。沉积物中 Al-P 和 Fe-P 的变化同样也说明工业和生活污水排放的影响^[13,16,17]。另从连续跟踪的排污口和排污渠道了解到,污水中溶解磷分别为 $0.219 \sim 0.674 \text{ mg/L}$ 和 $2.525 \sim 3.184 \text{ mg/L}$,均表明来自点源的非稳定态磷污染,即人们的生产活动和社会生活带来的污染是诱发官厅水库富营养化的主因。

4 参考文献

[1] Zhou Qixing, Christopher E Gibson, Zhu Yinmei. Eval-

uation of Phosphorus Bioavailability in Sediments of Three Contrasting Lakes in China and the UK[J]. *Chemosphere*, 2001,42:221—225.

[2] 黄清辉,王东红,王春霞,等. 沉积物中磷形态与湖泊富营养化的关系[J]. 中国环境科学, 2003,26(6): 583—586.

[3] 金相灿,刘鸿亮,屠清瑛,等. 中国湖泊富营养化[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1990. 151—169, 343—372.

[4] 刘浏,刘晓端,徐清,等. 密云水库沉积物中磷的形态和分布特征[J]. 岩矿测试, 2003, 22(2):81—85.

[5] 陈怀满,郑春荣,周东美,等. 土壤中化学物质的行为与环境质量[M]. 北京:科学出版社,2002. 267—277.

[6] Hieltjes A H M, Lijklema L. Fractionation of Inorganic Phosphates in Calcareous Sediments[J]. *J Environ Qual*, 1980, 9(3):405—407.

[7] 顾益初,蒋柏潘. 石灰性土壤无机磷分级的测定方法[J]. 土壤, 1990(2):101—102,110.

[8] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 第二版. 北京:中国环境科学出版社,1990. 224—225.

[9] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 第二版. 北京:农业出版社,1988. 82—83.

[10] 田升平,东野脉兴,周建民,等. 滇池湖泊磷负荷及其对水环境的影响[J]. 化工矿产地质, 2002, 24(1):11—16.

[11] 郑丽波,周怀阳,叶瑛. 东海特定海区柱状沉积物中磷的存在形态及其环境指示意义[J]. 上海环境科学,2003,22(6):414—417.

[12] 王庭健,苏睿,金相灿,等. 城市富营养湖泊沉积物中磷负荷及其释放对水质的影响[J]. 环境科学研究,1994,7(4):12—19.

[13] 陈淑珠,张金苗,张经. 河口及莱州湾沉积物中磷的化学形态及其含量[J]. 海岸工程,1997, 16(2): 42—46.

[14] 刘晓端,徐清,刘浏,等. 密云水库沉积物-水界面磷的地球化学作用[J]. 岩矿测试, 2004, 23(4): 246—250.

[15] 国家环境保护总局. 官厅水环境现状. <http://www.zhb.gov.cn/eic/652460108411830272/20021127/1036150.shtml>.

[16] 刘敏,陆敏,许世远,等. 长江河口及其上海岩带水体沉积物中磷的存在形态[J]. 地学前缘,2000,7(增刊):94—98.

[17] Ruban V, Brigault S, Demare D, et al. An Investigation of the Origin and Mobility of Phosphorus in Freshwater Sediments from Bort-Les-Orgues Reservoir, France[J]. *J Environ Monitor*, 1999, 1(4): 403—407.

Phosphorus Speciation in Sediments of the Yongding River and Its Significance

CHEN Hong-jun¹, HUANG Huai-zeng², FENG Liu¹, CHEN Ming²

(1. College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China;
2. National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China)

Abstract: Sediments were sampled near the Yongding River estuary. The sampling depth was 77 cm and was separated into 77 layers. 11 layers of samples were chosen to determine total phosphorus (TP) and the sequentially extracted Ca₂-P, Ca₈-P, Al-P, Fe-P. Org-P was determined by ignition method. Res-P was the difference value of TP and the sum of Ca₂-P, Ca₈-P, Al-P, Fe-P and Org-P. The result shows that TP contents in the sediments range from 0.06% to 0.12%. Inorganic phosphorus (IP) is a major component, of which the average ratio to TP is 88%. The major speciation is residual phosphorus (Res-P). TP imported into Guanting Reservoir from Yongding River in early period increased, which was partly derived from soil-erosion, and the increasing rate became bigger gradually, then decreased during the deposition period of the upper 20 centimeter depth of the sediments. On the other hand, bioavailable phosphorus (BAP) which mostly consist of Ca₂-P and mainly from wastewater discharged from industry and municipal sewage keeps continuously rising. Our results have revealed that P sources of Guanting Reservoir in Yongding River valley have changed continually. The proportion of P discharged from industry and municipal sewage have been increasing along with time, becoming the major component of Guanting Reservoir P sources which may lead to more intensified eutrophication of Guanting Reservoir.

Key words: Yongding River; sediments; phosphorus; Guanting Reservoir