

东平湖湿地水质动态及其净化功能分析

刘加珍¹, 陈永金¹, 陈诗越¹, 朱海勇², 王成祥¹, 徐梦辰¹

(1.聊城大学 环境与规划学院, 山东 聊城 252059; 2.青岛理工大学(临沂), 山东 临沂 273400)

摘要:以2009年-2011年的实地监测资料和前人的研究资料为基础,分析了东平湖湿地水型、湖水营养盐的时空变化特征以及湿地植物、土壤、水文的净化功能,并探讨了水质变化原因和净化机理。结果表明:人为干扰作用下,东平湖水型已由20世纪80年代的碳酸盐型转变为硫酸盐型;由于入湖河流污染,湖泊入湖口比出湖口总氮、总磷含量明显要高;经过治理,21世纪比20世纪90年代总氮、总磷的含量分别降低了16%与48%;菹草对总氮、总磷的去除率分别达85%与54%;丰水期与枯水期的总氮、总磷含量均比平水期少,因此东平湖湿地净化功能与土壤、植物、水文状况以及人为干扰有着密切的关系。

关键词:东平湖;湿地;水质;净化功能;水过程线;总氮;总磷

中图分类号: X524; Q178 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)04-0057-05

Analysis of Water Quality and Its Purified Function of Wetland Ecosystem in the Dongping Lake

LIU Jia zhen¹, CHEN Yong jin¹, CHEN Shi yue¹, ZHU Hai yong², WANG Cheng xiang¹, XU Meng chen¹

(1. School of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China;

2. Qingdao Technological University (Linyi), Linyi 273400, China)

Abstract: Based on the monitoring data of the wetland ecosystem of the Dongping Lake from 2009 to 2011 and previous studies, the spatial and temporal variation of wetland water type and water nutrients and the purified function of wetland plants, soil, and hydrology were analyzed, and the reason of water quality variation and purified mechanism were discussed. The results showed that (1) the water type in the Dongping Lake has changed from carbonate type in the 1980s to sulfate type due to human activities; (2) the contents of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) in the lake inlet are higher than those in the lake outlet as a result of pollution in the river flowing into the lake; (3) the contents of TN and TP in the 2000s decrease by 12% and 55% compared with those in the 1990s after pollution control; (4) the removal rates of potamogeton crispus on TN and TP in the wetland reach 85% and 54%, respectively; and (5) the contents of TN and TP are lower in both flood and dry periods than those in the normal period. Therefore, the purified function of wetland ecosystem in the Dongping Lake is related to the soil, plant, and hydrology and human activities.

Key words: Dongping Lake; wetland; water quality; purification function; water course line; total nitrogen; total phosphorus

湿地是水体到陆地的自然过渡地带^[1],可以通过拦截与沉积作用、过滤作用、化学沉降和吸附、微生物及植物吸收等过程,降低各种污染物的浓度如氮、磷、悬浮物、重金属和有机污染物,所以,湿地又被称作自然界的“肾脏”^[4-5]。已有研究表明^[6-12],湿地消除污染物的能力与植物、土壤动物、微生物以及土壤特性等非生物因素有密切关系:湿地植物通过对周围水体及沉积物中营养物质的吸收,来降低污染物浓度,比如植物根系对氮的固定能力要高于沉积物^[13];土壤动物的活动可以促进土壤微生物的繁衍,对消除污染物起到极

大的协助作用^[4];湿地土壤在垂直方向上对氮和磷具有很强的滤过截留作用^[15],入河污染物的浓度和毒性借助水体的自净作用可逐渐降低^[16],从而使入水口和出水水质的色度、浊度等存在明显差异^[17],这些过程可通过截留模型^[15,18]来诠释湿地对营养物质的降解、去除。

东平湖是南水北调重要的水库调蓄区,也是鲁北输水干线和东西输水干线的枢纽,位于黄河、京杭运河、汶河三大水系交汇地。该湖泊不仅是黄河下游仅存的天然湖泊和最大的滞洪区,还承担着随时滞黄河流水和接纳大汶河河水的

收稿日期: 2013-10-22 修回日期: 2013-11-18 网络出版时间: 2014-06-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.04.003.html>

基金项目: 国家自然科学基金(40901276; 41072258; 40772209); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(2011BSB01256)

作者简介: 刘加珍(1974),女,四川遂宁人,副教授,博士,从事陆面生态过程与水资源保护研究。E-mail: liujiazhen@lcu.edu.cn

重任^[19],在国家水资源配置战略中地位突出。因此,从维护东平湖湿地功能、保护湿地生态系统健康、促进当地经济的快速发展与水资源的合理利用等方面来说,研究东平湖湿地水质及净化功能具有重要意义。

1 研究区概况

东平湖位于我国山东省东平县的西部,平均水深约 2.5 m,是我国东部地区典型的浅水型湖泊,也是山东省第二大淡水湖泊。流域范围内,山区、丘陵、平原、湖泊交错分布。研究区属于暖温带大陆性季风气候:土壤类型主要为潮土^[20],降水分布不均匀,多年平均年降雨量为 624.4 mm,多集中在 7 月-9 月^[21];四季分明,夏季高温、高湿,冬季干冷少风雪;平均气温 13.6 °C,气温年较差 4.5 °C 左右,无霜期 200 a,年日照时数 2 401.1 h,年平均风速 2.8 m/s^[22]。近年来,由于富营养化加剧,菹草(*Potamogeton crispus* L.)已成为初春至初夏东平湖中沉水植物的优势种。

2 材料与方法

2.1 数据采集

土壤样品采集:分别在王台(A)、展营(B)、老湖(C)、陈山口(D)、八里湾(E)与稻屯洼(F)选择了湖边代表性植被生长带,设置监测断面(见图 1);每个监测断面布设 3 个监测点,用 GPS 定位,于 2011 年 5 月进行了土壤样品的分层采样。

水样采集:在湖区设置水样采样点,用 GPS 定位(以 H₀至 H₁₀表示,见图 1)。先后于 2009 年 11 月、2010 年 8 月、2011 年 5 月、7 月、10 月进行水质观测与采样。采样时在相应采样点从水面以下 0.5 m 处采集 3 个上覆水水样,再混合均匀成混合水样,移入预先洗净的 500 mL 聚乙烯瓶中。所取水样在现场用 20% 的 H₂SO₄ 酸化至 pH < 2.0,低温保存带回实验室分析。

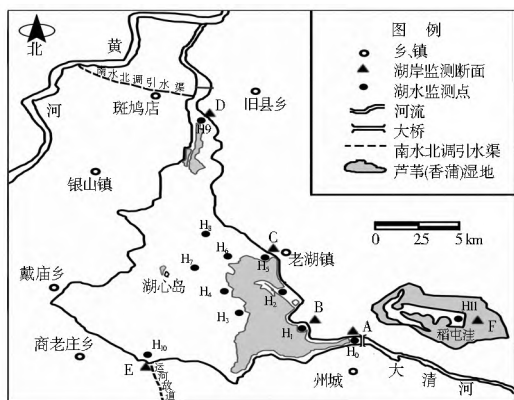


图 1 东平湖湿地采样点

Fig. 1 Sampling stations and monitoring sections in Dongping hu wetlands

2.2 分析方法

水样测定指标包括 pH、矿化度、水温、盐度、总氮、总磷、氨态氮、硝态氮、亚硝态氮等。其中,现场测定的指标包括:矿化度、盐度与水温(采用美国 M 316P 型便携式电导率仪)、pH(采用国产 SX 620 型便携式酸度计);实验室测定的指标包括:总氮(采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法)、氨态氮(采用纳氏比色法)、硝态氮(采用酚二磺酸分光光度法)、亚硝态氮

(采用盐酸萘乙二胺光度法)、总磷(采用钼锑抗分光光度法)。

3 结果与分析

3.1 湖泊水质动态

3.1.1 湖泊水型的变化

矿化度是水化学成分测定的重要指标,用于评价水中总含盐量。根据图 2 可知东平湖大湖区矿化度变幅在 300~500 mg/L,均值为 380.16 mg/L,湖区的 pH 变幅范围在 7.53~10.35 之间,属于碱性或微碱性。从 5 月、7 月至 10 月湖水 pH 值有减小趋势。将六个监测区的矿化度做成柱状图见图 2,可以看出,展营、入湖口、老湖镇、陈山口与湖心区相差不大,5 月、7 月与 10 月的最大矿化度区都在老湖镇分别为 499 mg/L、447.5 mg/L、372 mg/L。而作为东平湖配套滞洪区的稻屯洼,现成为浅水的富营养型的湿地,其矿化度明显要比大湖区高的多。

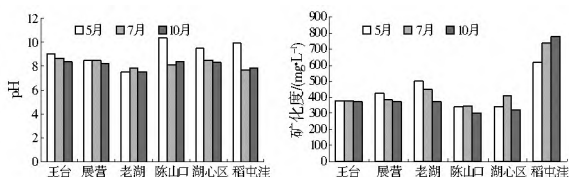


图 2 东平湖湿地不同湖区酸碱度与矿化度差异

Fig. 2 Different pH and TDS of different districts in Dongping he wetland

从表 1 可以看出,东平湖湖水中主要阳离子 Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺ 含量差别较大,含量高低顺序为 [Ca²⁺] > [Na⁺] > [Mg²⁺] > [K⁺],湖水按阳离子分类为钙组;而稻屯洼湿地为 [Na⁺] > [Ca²⁺] > [Mg²⁺] > [K⁺],滞洪湿地为钠组。东平湖水中主要阴离子 HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻ 含量差别也较大,大湖区阴离子含量高低为 [SO₄²⁻] > [HCO₃⁻] > [Cl⁻],稻屯洼为 [HCO₃⁻] > [Cl⁻] > [SO₄²⁻]。据水型分类标准可知,东平湖大湖区水型为 S₀^{Ca},其滞洪湿地稻屯洼为 Cl₀^{Na}。

资料显示,20 世纪 80 年代初,东平湖水型为碳酸盐型(C₀^{Ca}与 C₀^{Ca})^[20,21],2004 年其水型发生了一定变化^[23],至 2009 年其水型变为硫酸盐型(S₀^{Ca}与 S₀^{Ca}型)^[20],此结果与本文的检测结果相一致。究其原因,主要是人类活动带来的有机污染物所致。研究表明^[20],一方面,东平湖 COD 平均含量由 1980 年的 3.07 mg/L 上升到 2009 年的 4.93 mg/L,湖水的有机污染越来越严重;另一方面是由于湖中发展“三网”养殖,且大量投饵^[23],这些含硫氨基酸的蛋白质、碳水化合物等经过氧化分解,产生了大量硫酸根;第三方面,大汶河的造纸、饮食、化工、冶金等企业的污水排放^[24],使含硫酸根的无机配位体与重金属结合形成络合物,进入东平湖,致使湖水硫酸根和湖底沉积物中重金属的含量均有增加^[25]。

3.1.2 湖水营养盐状况

从前人研究^[20,22]结合近两年监测资料可知,自 1990 年开始,东平湖的氮、磷含量见图 3,湖水氮、磷指标尚属 0 类,1991 年开始在 0、0 类、劣 0 类之间变动,1991 年-1998 年一直处于 0 类水,2000 年-2003 年略有好转,但 2004 年总氮含量严重超标,2005 年-2009 年总氮含量出现下降趋势。

表 1 东平湖湿地不同地区水样主要离子含量
Table 1 Main ion content of different district in Dongpinghu wetland

采样点	可溶性盐离子含量/(g·L ⁻¹)							
	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
王台	0	0.148	0.101	0.235	0.097	0.039	0.045	0.007
展营	0	0.152	0.107	0.255	0.097	0.031	0.075	0.007
老湖镇	0	0.150	0.090	0.220	0.100	0.030	0.060	0.008
稻屯洼	0	0.392	0.291	0.081	0.089	0.062	0.151	0.008

总磷在 1990 年- 1998 年含量都较高, 2000 年- 2004 年有所降低, 稳定在 0.05 mg/L 左右, 2005 年- 2007 年又下降到 0.03 mg/L, 2008 年之后有所增加。

从总氮变化来看, 90 年代多年平均含量达 3.00 mg/L, 2000 年- 2011 年多年平均含量达 2.51 mg/L, 降低了 16%; 总磷在 90 年代的多年平均含量达 0.11 mg/L, 而 2000 年- 2011 年的多年平均含量达 0.06 mg/L, 降低了 48%。这与 2000 年之后开始实行的水污染治理措施有关。2010 年与 2011 年监测资料显示, 王台大桥和稻屯洼的总氮、总磷含量较高, 表明大汶河是东平湖总氮和总磷含量的主要来源^[24, 26]。

3.2 湖泊湿地的净化能力

3.2.1 水文过程与净化功能

东平湖湿地生态系统净化功能可以从水流路径上的水质变化表现出来。由图 4 可知, 2011 年 5 月与 7 月从东平湖入湖口到出湖口(采样点 H₀-H₉)的总氮、总磷、硝态氮与亚硝态氮的含量整体均呈现出逐渐降低的趋势。其中, 5 月份见图 4a1、图 4a2, 图中氮、磷含量的降低更为明显, 总氮由入湖口的 2.56 mg/L, 降低为 0.39 mg/L, 去除率达 85%; 总磷由入湖口的 0.10 mg/L, 降低为 0.05 mg/L, 去除率达 54%; 而 7 月份(图 4b1、图 4b2)的总氮与总磷的去除率分别达

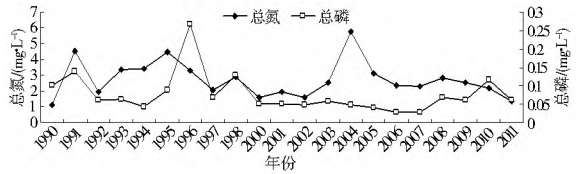


图 3 东平湖 2000 年- 2009 年总氮、总磷含量

Fig. 3 Content of TN and TP in Dongping Lake in 2000- 2011

51% 和 36%。从图 5 可以看出, 在湖泊西南各监测点(H₁₀、H₃、H₄、H₇), 5 月、7 月总氮的平均值分别为 0.86 mg/L、0.91 mg/L, 总磷的平均值分别为 0.080 mg/L、0.061 mg/L, 入湖至出湖水过程线上也表现出减少的趋势见图 5a、图 5b。

污染物浓度沿水流路径逐渐降低的原因是由于水流进入东平湖湿地后流速降低, 有利于附着污染物的悬浮颗粒的沉积, 而水流过湖区沉水植物和根系较密集的地方时, 吸附有污染物的悬浮固体被滤过, 然后粘附到植被或其它过滤媒介上或参与絮凝作用等进一步去除污染物。另一方面, 由于作用力的不平衡, 溶解颗粒将自身吸附到表面区域, 污染物粘附到泥炭土壤和植物上并通过延长和吸附媒介的接触时间提高污染物去除率。再者, 湖泊湿地中以微生物为媒介的厌氧、好氧过程能促进水体中的化学物质沉淀或挥发^[17, 27]。

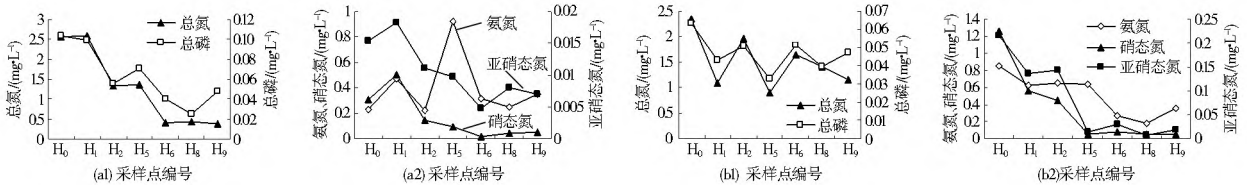


图 4 入湖至出湖水过程线上的氮磷含量差异

Fig. 4 Different concentration of Nitrogen and Phosphorus along water course line from lacustrine mouth to lacustrine tail

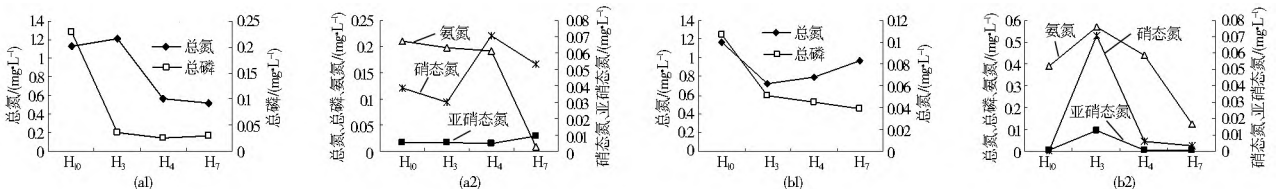


图 5 东平湖西南区水过程线上的氮磷差异

Fig. 5 Different concentration of Nitrogen and Phosphorus along in the southwest region of Dongping Lake

3.2.2 季节变化与净化能力

东平湖洪水期发生在 7 月- 9 月, 2 月- 6 月是枯水期, 其它月份为平水期。根据各月 10 个采样点的水化学成分的平均值做图(图 6)可知, 东平湖的总氮、总磷存在明显的季节性变化, 近两年总氮、总磷最低的月份是在 5 月、7 月、8 月, 氮、磷含量平水期大于丰水期, 丰水期大于枯水期的现象。

由此可见, 东平湖水量的变化也会引起氮、磷污染物的

去除效果。究其原因, 洪水期间入湖水量大, 受蓄水能力的限制, 必然会提闸泄洪, 许多上浮的污染物随出湖水流排出, 加之丰水期水温较高见图 6, 为微生物和水生物的生长活动提供了良好的条件, 促进了水生生物对营养物质的吸收, 加速了东平湖污染物的降解, 提高了湖泊的净化能力; 另一方面, 洪水使流速场中的流速相对加大, 水中的溶解氧增加, 为土壤表面提供了好氧界面, 促进了化学和微生物反应, 一些

污染物被降解^[21];第三,洪水淹没区土壤的通气性差,而嫌气性细菌如反硝化细菌等活动性增强,有利于总磷和氮的去除^[22]。而在平水期,由于关闸蓄水,出湖水量减少,气温度

较低,动物、植物及微生物降解活动减弱,而地面径流、河流通畅,氮、磷营养物质能够顺利进入湖泊^[30,31],并有所蓄积。此消彼长,自然造成洪水期东平湖湖中氮、磷含量低于平水期。

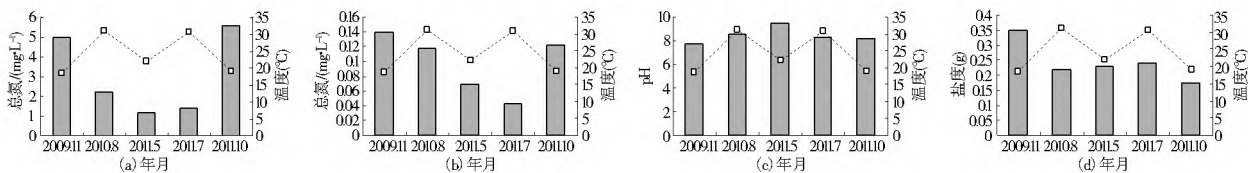


图 6 东平湖不同季节水化学成分的差异

Fig. 6 Content of chemical composition of water in different seasons in Dongping

但是从图 6 看出,不是丰水期的 5 月份湖水总氮、总磷的含量也相对较低。进一步分析发现,5 月份东平湖 pH 值平均值达 9.3 左右(图 6(c)),明显高于其它月份,这是菹草生长对 CO_2 和 CO_3^{2-} 的大量利用所致^[32]。研究表明,氮磷养分含量高的湖泥更有利于菹草植株的生长^[33],5 月份浅型湖泊的东平湖具有菹草生长的适宜条件。菹草的根、茎、叶会对不同污染物进行选择吸收:菹草根主要从底泥中吸收正磷酸盐^[34];在 pH 为 8.0~9.5、水温为 19 °C~28 °C 的条件下^[34],菹草的茎叶会根据氨态氮与硝态氮的浓度不同进行选择吸收,从而明显降低湖水营养盐分。这也是 5 月份上覆水中总氮相对含量要低于总磷的主要原因。另外,枯水期河流流量极小,氮、磷进入湖泊的机会减少^[30-31];可能也是东平湖枯水期氮、磷含量相对要低的原因之一。

4 结论

(1) 东平湖大湖区属于碱性或微碱性水,从盐分的空间分布可以看出,展营、入湖口、老湖镇、陈山口与湖心区相差不大,而其滞洪湿地稻屯洼与大湖区相比盐分含量较高。在人类活动的影响下,东平湖水型已由 20 世纪 80 年代的碳酸盐型转硫酸盐型,稻屯洼湿地则为氯化镁型水。

(2) 从氮磷含量的年际变化来看,20 世纪 90 年代至今东平湖的总氮、总磷含量较为丰富,2000 年之后采取了治理措施,总氮与 90 年代相比降低了 16%,总磷降低了 48%。但大汶河仍然是东平湖总氮和总磷含量的主要来源。

(3) 从湖泊水文过程的净化能力来看,沿水过程线湖泊表显出明显的净化功能,不同季节,净化能力的强弱不同。5 月份水过程线的中氮、磷含量的降低更为明显,总氮由入湖口的 2.56 mg/L,降低为 0.39 mg/L,去除率达 85%;总磷由入湖口的 0.10 mg/L,降低为 0.05 mg/L,去除率达 54%;而 7 月份水过程线中总氮与总磷的去除率分别达 51% 和 36%。

(4) 从不同季节湖泊净化功能的变化可以得出,近两年总氮、总磷最低值出现丰水期,以及 5 月份菹草生长季节,表明地面径流量、河流载体氮、磷含量、动物、植物及微生物降解能力等对东平湖湿地净化功能的发挥具有重要影响作用。

参考文献(References):

[1] Kalpana A, Syed A H, Ruchi B. Resource Dependence and Attitudes of Local People Toward Conservation of Kabartal Wet-

land: A Case Study From the Indo Gangetic Plains [J]. Wetlands Ecol. Manage, 2007, (15): 287-302.

- [2] 彭少麟,任海,张倩媚. 退化湿地生态系统恢复的一些理论问题[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2026-2030. (PENG Shaolin, REN Hai, ZHANG Qianmei. Theories and oration [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(11): 2026-2030. (in Chinese))
- [3] 邓伟,胡金明. 湿地水文学研究进展及科学前沿问题[J]. 湿地科学, 2003, 1(1): 12-20. (DENG Wei, HU Jirong. Development of Wetland Hydrology Research and Key Scientific Issues [J]. Wetland Science, 2003, 1(1): 12-20. (in Chinese))
- [4] 杨永兴. 国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 111-119. (YANG Yongxing. Main Characteristics, Progress and Prospect of International Wetland Science Research [J]. Progress in Geography, 2002, 21(2): 111-119. (in Chinese))
- [5] 赵学敏. 湿地: 人与自然和谐共存的家园[M]. 中国湿地保护, 北京: 中国林业出版社, 2005. (ZHAO Xueming. Wetlands: The Harmonious Home of Human and Nature [M]. Chinese Wetland Protection, Beijing: The Chinese Forestry Press, 2005. (in Chinese))
- [6] 郝敏,刘红玉,吕宪国. 流域湿地水质净化功能研究进展[J]. 水科学进展, 2006, 17(4): 566-570. (XI Min, LIU Hongyu, LU Xianguo. Progress in Study on the Water Quality Purification Functions of Wetlands in Watersheds [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(4): 566-570. (in Chinese))
- [7] TANG Xiangqiang, HUANG Suiliang, Miklas S., et al. Nutrient Removal in Pilot-Scale Constructed Wetlands Treating Eutrophic River Water [A]: Assessment of Plants, Intermittent Artificial Aeration and Polyhedron Hollow Polypropylene Balls. Water Air Soil Pollut, 2009(197): 61-73.
- [8] Tudor A. Balancing Stream and Wetland Preservation with Nonpoint Source Pollution Management a Case Study [J]. Wat Sci Tech, 1999, 40(10): 137-144.
- [9] Seitzinger A P, Styles R V, Boyer E., et al. Nitrogen Retention in Rivers: Model Development and Application to Watersheds in the Northeastern U. S. A [J]. Biogeochemistry, 2002, (57/58): 199-237.
- [10] 王为东,王亮,聂大刚,等. 白洋淀芦苇型水陆交错带水化学动态及其净化功能研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(3): 537-543. (WANG Weidong, WANG Liang, NIE Dargang, et al. Studies on Hydrochemical Changes and Purification Effects of the Phragmites Australis dominated Land/inland Water Ecotones in Baiyangdian Lake [J]. Ecology and Environmental Sci

- ences, 2010, 19(3): 537-543. (in Chinese)
- [11] 尹澄清, 苏胜利, 张荣斌, 等. 以河网作为城市水源的污染问题和湿地净化[J]. 环境科学学报, 2010, 30(8): 1583-1586. (YIN Cheng-qing, SU Sheng-li, ZHANG Rong-bin, et al. Use of Wetland to Purify Polluted Stream Network for A City Water Source[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30(8): 1583-1586. (in Chinese))
- [12] Achyut R, Adhikari K A, Seth A S, Xiaoping Zhou. Removal of nutrients and Metals by Constructed and Naturally Created Wetlands in the Las Vegas Valley, Nevada[J]. Environ Monit Assess, 2011, (180): 97-113.
- [13] Hana Š, Elška R, Barbora P, et al. Nutrient Enrichment in Tropical Wetlands: Shifts from Autotrophic to Heterotrophic Nitrogen Fixation[J]. Biogeochemistry, 2010(101): 295-310.
- [14] 殷秀琴, 宋博, 董炜华, 等. 我国土壤动物生态地理研究进展[J]. 地理学报, 2010, 65(1): 91-102. (YIN Xiur-qin, SONG Bo, DONG Wei-hua, et al. A Review on the Ecogeography of Soil Fauna in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(1): 91-102. (in Chinese))
- [15] 翟金良, 何岩, 邓伟. 向海洪泛湿地土壤对氮和磷的滤过截留作用及影响因素分析[J]. 土壤, 2003, 35(4): 314-319. (ZHAI Jin-liang, HE Yan, DENG Wei. N and P Interception Functions of Flooding Wetland Soil in Xianghai and Their Influencing Factors[J]. Soils, 2003, 35(4): 314-319. (in Chinese))
- [16] 布多, 李明礼, 德吉, 等. 拉萨河流域甲玛湿地水质净化功能研究[J]. 资源科学, 2010, 32(9): 1650-1656. (BU Duo, LI Ming-li, DE Ji, et al. Study on Water Purification Functions of the Jama Wetland in the Lhasa River basin[J]. Resources Science, 2010, 32(9): 1650-1656. (in Chinese))
- [17] Trepel M., Palmefi L. Quantifying Nitrogen Retention in Surface Flow Wetlands for Environmental Planning at the Landscape-scale[J]. Ecological Engineering, 2002, (19): 127-140.
- [18] 陈兆开. 南水北调东线东平湖库区生态经济可持续发展研究[J]. 生态经济, 2009, (11): 62-64. (CHEN Zhao-kai. A Research on Dongping Lake District Ecological Economy Development of east Route of south to north Water Transfer[J]. Ecological economy, 2009, (11): 62-64. (in Chinese))
- [19] 毛伟兵. 东平湖水污染控制及水资源可持续利用研究[D]. 山东农业大学, 2000. (MAO Wei-bin. Research on Control of Water Pollution and Sustainable use of Water Resource in Dongping Lake[D]. PhD thesis, Shandong Agricultural University, 2000. (in Chinese))
- [20] 孙栋, 段登选, 王志忠, 等. 东平湖水质监测与评价[J]. 淡水渔业, 2006, 36(4): 13-16. (SUN Dong, DUAN Deng-xuan, WANG Zhi-zhong, et al. Water Quality Monitoring and Evaluation of Dongping Lake[J]. Freshwater Fisheries, 2006, 36(4): 13-16. (in Chinese))
- [21] 姜广智主编. 东平县志[M]. 山东: 山东人民出版社, 2005. (JIANG Guang-zhi. Dongping County Annals. Shandong[M]. Shangdong People Press, 2005. (in Chinese))
- [22] 师吉华, 王钦东, 李秀启, 等. 东平湖水生生态系统变迁及富营养化评价[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2011, 8(4): 242-246. (SHI Ji-hua, WANG Qin-dong, LI Xiur-qi, et al. Aquatic Ecosystem Changes and Eutrophication Assessment in Dongping Lake[J]. Journal of Yangtze University (Nat Sci Edit), 2011, 8(4): 242-246. (in Chinese))
- [23] 徐国东, 吕华, 古松. 大汶河污染现状及其治理措施[J]. 水资源保护, 2003(1): 58-62. (XU Guo-dong, LU Hua, GU Song. The Pollution Status and Control Measures in Dawenhe River[J]. Water Resources Protection, 2003(1): 58-62. (in Chinese))
- [24] 张菊, 邓焕广, 陈诗越. 东平湖湖心区沉积物组成及重金属污染评价[J]. 人民黄河, 2010, 32(7): 47-48. (ZHANG Ju, DENG Huan-guang, CHEN Shi-yue. Assessment on Sediment Composition and Heavy Metal Pollution in Dongping Lake District[J]. Yellow River, 2010, 32(7): 47-48. (in Chinese))
- [25] 侯世文, 仝修增, 李振苓, 等. 水污染与东平湖水资源可持续利用探讨[J]. 人民黄河, 2006, 28(7): 32-33. (HOU Shi-wen, QI Xiur-zeng, LI Zheng-ling, et al. Water Pollution and Sustainable use of Water Resource in Dongping Lake[J]. Yellow River, 2006, 28(7): 32-33. (in Chinese))
- [26] 叶春. 中国湖泊湿地的功能及主要环境问题[J]. 上海环境科学, 2000, 19(增刊): 112-117. (YE Chun. Function and its Main Environmental Problems of Lake Wetland in China[J]. Shanghai Environmental Science, 2000, 19(supplement): 112-117. (in Chinese))
- [27] Rice R W, Izuno FT, Garcia RM. Phosphorus Load Reductions under best Management Practices for Sugarcane Cropping Systems in the Everglades Agricultural Area[J]. Agri. Wat. Manage, 2002, (56): 17-39.
- [28] 陶敏, 贺锋, 徐栋, 等. 复合垂直流人工湿地氧化还原特征及不同功能区净化作用研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 291-294. (TAO Min, HE Feng, XU Dong, et al. Redox Character and Purification of Different Function units in Integrated Vertical-flow Constructed Wetland[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(2): 291-294. (in Chinese))
- [29] 张仁哲, 朱振明. 东平湖营养物状况调查与分析[J]. 山东环境, 1998, (83): 35-36. (ZHANG Ren-zhe, ZHU Zhen-ming. Investigation and Analysis on Nutrient Status in Dongping Lake[J]. Shandong Environment, 1998, (83): 35-36. (in Chinese))
- [30] 庞清江, 葛慧敏, 纪玲, 等. 东平湖水体营养状况主要影响因子研究[J]. 人民黄河, 2008, 30(6): 50-51, 54. (PANG Qing-jiang, GE Hui-min, Ji Ling, et al. Research on the Main Impact Factor of Water Eutrophication Status in Dongping Lake. Yellow River[J], 2008, 30(6): 50-51, 54. (in Chinese))
- [31] 庞清江. 东平湖水质现状的调查分析及改善对策[J]. 水资源保护, 2000, (2): 15-21. (PANG Qing-jiang. The Investigation, Analysis and Improving Measure of Water Qualities Status in Dongping Lake[J]. Water Resources Protection, 2000, (2): 15-21. (in Chinese))
- [32] 苏胜齐, 沈鑫绿, 唐洪玉, 等. 温度光照和 pH 对菹草光合作用的影响[J]. 西南农业大学学报, 2001, 23(6): 532-537. (SU Sheng-qi, SHEN Ang-lu, TANG Hong-yu, et al. Effects of Temperature, Light Intensity and pH on Photosynthesis in Potamogeton Crispus L[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2001, 23(6): 532-537. (in Chinese))

(下转第 101 页)

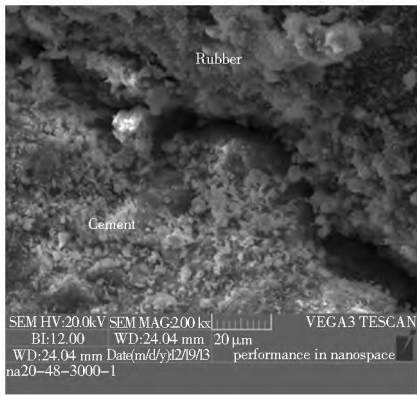


图9 自制 Na_2SiO_3 溶液处理后的砂浆

Fig.9 Modified mortar with homemade Na_2SiO_3 solution

46.56%。

(2) 电镜观测表明,橡胶颗粒经 NaOH 溶液改性后,其表面的杂质较少,孔隙增多,表面粗糙度明显增加。橡胶砂浆电镜切片显示,改性橡胶颗粒与水泥石的粘结咬合增强,有利于改性橡胶砂浆强度的提高。

参考文献(References):

[1] 潘东平,刘锋,李丽娟,等.橡胶混凝土的应用和研究概况[J].橡胶工业,2007,(54):182-185.(PAN Dong ping, LIU Feng, LI Li Juan, et al. Application and Research Survey of Rubber Concrete[J]. China Rubber Industry, 2007, (54): 182-185. (in Chinese))

[2] 李靖,王宝民.掺橡胶水泥混凝土橡胶颗粒界面的处理研究[A].中国商品混凝土可持续发展论坛暨第六届全国商品混凝土技术与管理交流大会论文集[C].2009,128-131.(LI Jing, WANG Bao min. Treatment Research of Interface of Rubber Particles Mixed in Cement Concrete[A]. Proceedings of Forum of China Commercial Concrete's Sustainable Development and Conference of the Sixth National Commercial Concrete's Technology and Management[C]. 2009, 128-131. (in Chinese))

[3] 余其俊,刘岚.废橡胶粉的改性对砂浆力学性能的影响[J].混凝土,2009,(234):98-100.(YU Qi jun, LIU Lan. Effect of the Modified Waste on Rubber Powder on the Mechanical Properties of Mortar[J]. Concrete, 2009, (234): 98-100. (in Chinese))

[4] 刘小星,张海波,管学茂.表面改性橡胶水泥砂浆的研究[A].中国硅酸盐学会水泥分会首届学术年会论文集[C].2009.(LIU Xiaoxing, ZHANG Haibo, GUAN Xue mao. Study on

Rubber Powder Surficial Modified Cement Mortar [A]. The First Branch of the Chinese Ceramic Society Cement Conference Proceedings[C]. 2009. (in Chinese)

[5] 郑莉娟,余其俊,韦江雄.废橡胶粉的改性及其对水泥砂浆性能的影响[J].武汉理工大学学报,2008,30(1):53-54.(ZHENG Li Juan, YU Qi jun, WEI Jiang-xiong. Crumb Rubber Modified and its Impact on the Performance of Cement Mortar[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008, 30(1): 53-54. (in Chinese))

[6] 杨春峰,杨敏,叶文超.改性方式对橡胶混凝土力学性能的影响[J].沈阳大学学报,2012,24(3):79-81.(YANG Chun feng, YANG Min, YE Wen chao. Effect of Modification on the Mechanical Properties of Rubber Concrete[J]. Journal of Shenyang University, 2012, 24(3): 79-81. (in Chinese))

[7] 姜丽,薛刚,董素芬,等.废旧橡胶颗粒改性对水泥砂浆性能的影响研究[J].蒙古科技大学学报,2013,32(1):84-87.(JIANG Li, XUE Gang, DONG Su fen, et al. Research on the Influence on the Performance of Cement Mortar Modified with Waste Rubber Particles[J]. Journal of Mongolia University of Science and Technology, 2013, 32(1): 84-87. (in Chinese))

[8] Fattuhi N I, Clark L A. Cement based Materials Containing Shredded Scrap Truck Tyre Rubber [J]. Construction and Building Materials, 1996, 10(4): 229-236.

[9] Segre N, Jokes I. Use of tire Rubber Particles as Addition to Cement Paste[J]. Cement and Concrete Research, 2000, 30(9): 1421-1425.

[10] 魏亚,张海波,田地,等.橡胶粉改性砂浆的初步研究[J].山东建材,2008,(4):52-54.(WEI Ya, ZHANG Haibo, TIAN Di, et al. A Preliminary Study of Mortar with Modified Rubber Powder[J]. Shandong Building Materials, 2008, (4): 52-54. (in Chinese))

[11] 张云莲,周宏凯,李启令.废旧轮胎橡胶改性水泥基材料的试验研究[J].混凝土,(223):68-70.(ZHANG Yun lian, ZHOU Hong kai, LI Qi ling. Experimental Study of Waste Tire Rubber Modified Cement Based Materials[J]. Concrete, (223): 68-70. (in Chinese))

[12] 马海峰,袁江,韩云阁,等.废旧橡胶改性水泥基材料的研究进展[J].混凝土与水泥制品,2012,(3):71-75.(MA Haifeng, YUAN Jiang, HAN Yun ge, et al. Research Progress of Waste Rubber Modified Cement Based Materials[J]. China Concrete and Cement Products, 2012, (3): 71-75. (in Chinese))

(上接第61页)

[33] 高华梅,谷孝鸿,曾庆飞,等.不同基质下菹草的生长及其对水体营养盐的吸收[J].湖泊科学,2010,22(5):655-659.(GAO Hua mei, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al. Growth of Potamogeton Crispus L. and its Influence on the Water Quality under Different Substrate Types [J]. J. Lake Sci. 2010, 22 (5): 655-659. (in Chinese))

[34] 金送笛,李永函,倪彩虹,等.菹草对水中氮、磷的吸收及若干影响因素[J].生态学报,1994,14(2):168-173.(JIN Song di, LI Yong han, NI Cai hong, et al. Uptake by Potamogeton Crispus of Nitrogen and Phosphorus from Water and Some Affecting Factors [J]. Acta Ecologica Sinica, 1994, 14(2): 168-173. (in Chinese))