

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2014.05.005

Cu²⁺对好氧颗粒污泥理化特性的影响分析

巢少峰¹,冒文娟²,郑晓英²,吴颜科²,倪明²

(1.江苏大禹水务股份有限公司,江苏常州 213161; 2.河海大学环境学院,江苏南京 210098)

摘要:以普通活性污泥为接种污泥,葡萄糖和乙酸钠为碳源,在SBR反应器中培养好氧颗粒污泥,考察不同质量浓度Cu²⁺(0 mg/L、1 mg/L、3 mg/L、5 mg/L和10 mg/L)冲击作用对好氧颗粒污泥理化特性的影响。结果表明,随着Cu²⁺质量浓度从0 mg/L上升至10 mg/L,好氧颗粒污泥的理化特性均受到不同程度的影响。质量浓度为1 mg/L和3 mg/L的Cu²⁺对COD和NH₄⁺-N的去除率影响较小,而质量浓度为5 mg/L和10 mg/L的Cu²⁺对COD和NH₄⁺-N的去除率影响较大。随着Cu²⁺质量浓度的增加,好氧颗粒污泥的丝状菌逐渐增多,污泥浓度不断下降,沉降性能急剧恶化;密度度降低,结构越来越松散,粒径出现两极分化的现象,而且在质量浓度为10 mg/L的Cu²⁺作用下颗粒污泥解体。

关键词:好氧颗粒污泥;污泥理化特征;Cu²⁺;SBR反应器

中图分类号:X703 文献标志码:A 文章编号:1000-1980(2014)05-0399-05

Analysis of influence of Cu²⁺ on physicochemical characteristics of aerobic granular sludge

CHAO Shaofeng¹, MAO Wenjuan², ZHENG Xiaoying², WU Yanke², NI Ming²

(1. Jiangsu Dayu Water Co., Ltd., Changzhou 213161, China;

2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In this study, aerobic granular sludge was cultivated in a sequencing batch reactor (SBR) with glucose and sodium acetate as the carbon sources. The shock-loading effects of varying Cu²⁺ concentrations (0, 1, 3, 5 and 10 mg/L) on the physicochemical characteristics of the aerobic granular sludge were studied. The results show that the physicochemical characteristics of the aerobic granular sludge were affected as the concentration of Cu²⁺ increased from 0 to 10 mg/L. Cu²⁺ with concentrations of 1 and 3 mg/L had a slight effect on the removal efficiencies of COD and NH₄⁺-N, while Cu²⁺ with concentrations of 5 and 10 mg/L had a significant effect on the removal efficiencies of COD and NH₄⁺-N. As the concentration of Cu²⁺ increased, filamentous bacteria in the aerobic granular sludge increased gradually, the concentration of sludge decreased continuously, and the settling property deteriorated rapidly. In addition, a decrease in the density degree, a loosening structure, and polarization of particle size of the aerobic granular sludge were found in the SBR, and the granular sludge disintegrated when the Cu²⁺ concentration was 10 mg/L.

Key words: aerobic granular sludge; physicochemical characteristics of sludge; Cu²⁺; sequencing batch reactor

好氧颗粒污泥是由微生物自絮凝形成的污泥聚集体,与普通活性污泥相比,具有较高的污泥浓度和良好的沉降性能,能够缩小污水处理厂的占地面积、降低工程造价以及减少剩余污泥排放量^[1-4]。好氧颗粒污泥技术作为近几年发展起来的污水处理新技术,已成为国内外学者关注的热点。Cu²⁺主要来源于电镀、矿石处理、冶炼、皮革、电子等工业领域^[5],痕量时是微生物必需的营养物质,但过量的重金属离子则会抑制微生物生化反应,降低污水处理效果^[6]。因此,不同质量浓度Cu²⁺的冲击作用对好氧颗粒污泥的影响还有待进一步研究。

收稿日期: 2013-08-08
基金项目: 国家自然科学基金(51208174); 水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07506-002-2)
作者简介: 巢少峰(1974—),男,江苏常州人,工程师,主要从事污水处理系统运行管理与水环境治理研究。E-mail: chaoshao88@163.com

笔者以普通活性污泥作为接种污泥,以葡萄糖和乙酸钠为碳源,采用 SBR 反应器培养好氧颗粒污泥,考察在不同质量浓度 Cu^{2+} 冲击作用下好氧颗粒污泥的污染物去除效率、外观形态、污泥浓度、沉降性能以及物理特性等随运行时间的变化。

1 材料与方法

1.1 试验装置

SBR 反应器为有机玻璃制成,直径 80 mm,有效高度 900 mm,有效容积 4 L,每周期换水量 2.5 L。模拟废水经蠕动泵打入反应器,采用曝气泵和曝气砂头供气,通过气体流量计控制气量。试验装置见图 1。

试验运行周期为 6 h,每个周期的具体运行时间为进水 10 min、曝气 342 min、沉淀 3 min、排水 5 min。通过蠕动泵从反应器底部进水,由电磁阀控制从中部排水,空气压缩机从反应器上部插入玻璃砂芯砂头曝气,曝气量为 150 L/h,溶解氧(DO)质量浓度控制在 6 ~ 8 mg/L。5 个反应器并联运行,试验水温控制在 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

1.2 进水水质

采取人工模拟生活污水,主要成分质量浓度如下: $\rho(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 500.0\text{ mg/L}$, $\rho(\text{CH}_3\text{COONa}) = 120.0\text{ mg/L}$, $\rho(\text{peptone}) = 15.0\text{ mg/L}$, $\rho(\text{NH}_4\text{Cl}) = 100.0\text{ mg/L}$, $\rho(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 10.0\text{ mg/L}$, $\rho(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 10.0\text{ mg/L}$, $\rho(\text{CaCl}_2) = 150.0\text{ mg/L}$, $\rho(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 20.0\text{ mg/L}$, $\rho(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 20.0\text{ mg/L}$, $\rho(\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 3.0\text{ mg/L}$, $\rho(\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}) = 0.4\text{ mg/L}$, $\rho(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 0.5\text{ mg/L}$ 。

1.3 试验方法

采用普通活性污泥培养好氧颗粒污泥,接种絮状污泥取自南京市江宁污水处理厂 $\rho(\text{MLSS}) = 1830\text{ mg/L}$ 。经 40 d 后培养出成熟的好氧颗粒污泥,并将 5 个反应器的污泥进行混合,再平均分布于 5 个反应器中,保证每个反应器内的污泥质量浓度基本相当($\rho(\text{MLSS}) = 3500 \sim 4000\text{ mg/L}$)。在好氧颗粒污泥培养成功后,分别投加 Cu^{2+} 质量浓度为 0 mg/L、1 mg/L、3 mg/L、5 mg/L、10 mg/L (其他条件不变);在投加不同质量浓度 Cu^{2+} 的过程中,每天在固定时间分别从 5 个反应器内取样检测各项污染成分指标。

1.4 分析方法

COD 采用快速消解法分析, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 采用纳氏试剂分光光度法分析;MLSS、SVI、含水率、密度等指标均按标准方法测定^[7];污泥形态采用普通光学显微镜进行观察,并用数码相机拍摄图片;颗粒污泥的粒径采用 LS230 型激光粒度仪测定。

2 结果与讨论

2.1 Cu^{2+} 对好氧颗粒污泥脱氮降碳性能的影响

对于污水处理系统,COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效率是最能直观体现系统处理性能的指标。本试验测定了不同质量浓度 Cu^{2+} 冲击作用下好氧颗粒污泥系统对 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率影响情况。进水中 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度分别控制在 650 ~ 750 mg/L 和 26 ~ 30 mg/L。从图 2 中可以看出:质量浓度为 1 mg/L 和 3 mg/L 的 Cu^{2+} 对 COD 的去除率影响较小,去除率均能保持在 95% 以上;而在质量浓度为 5 mg/L 和 10 mg/L 的 Cu^{2+} 作用下,COD 的去除率明显下降,去除率分别降到 87.41% 和 85.71%。 Cu^{2+} 导致 COD 去除率下降的主要原因可能基于以下 2 点:(a) Cu^{2+} 有较强的配位能力,会与大多数细菌功能蛋白上的氨基以及羧基上的氧、氮竞争配位,导致该功能蛋白失去活性。当 Cu^{2+} 质量浓度较大时,将改变异养细菌体和自养细菌体内外渗透压的平衡,阻碍矿物质的循环,从而抑制细菌的正常生长和代谢,直接导致微生物对有机物的降解能力下降^[8]。(b) Cu^{2+} 的存在严重影响了原生动物的生长,对原生动物的细胞膜和蛋白质造成伤害;此外, Cu^{2+} 会抑制原生动物降解细菌的部分胞外聚

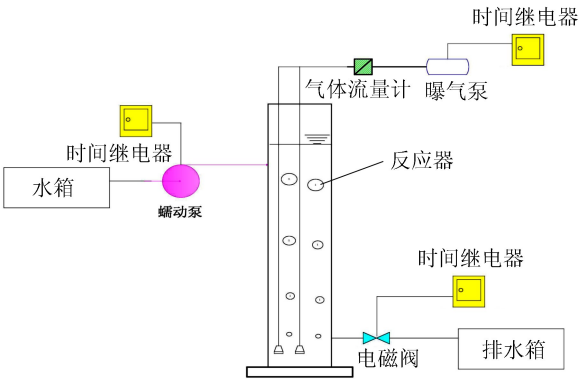


图 1 SBR 试验装置
Fig. 1 Sequencing batch reactor (SBR)

合物,同时抑制原生动物的自溶产物和胞外聚合物的产生,从而抑制其生长^[9]。

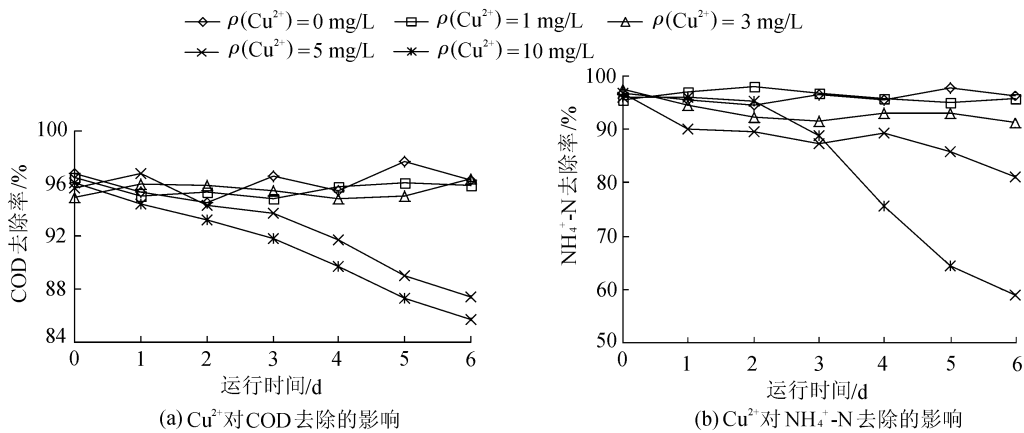


图 2 Cu^{2+} 对好氧颗粒污泥脱氮降碳的影响

Fig. 2 Effect of Cu^{2+} on removal efficiencies of COD and $\text{NH}_4^+\text{-N}$

质量浓度为 1 mg/L 的 Cu^{2+} 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率的影响较小,基本维持在 95% 左右;质量浓度为 3 mg/L 的 Cu^{2+} 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率有轻微影响,去除率下降到 91.18%;而质量浓度为 5 mg/L 和 10 mg/L 的 Cu^{2+} 均会对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率产生明显的影响,去除率分别下降到 81.05% 和 58.97%。从图 2 可以看出,随着 Cu^{2+} 质量浓度的增加, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率逐渐降低,说明 Cu^{2+} 对硝化反应有抑制作用,而且随着 Cu^{2+} 质量浓度的增加,抑制作用逐渐增强。对比图 2 中 Cu^{2+} 对 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率的影响情况可知, Cu^{2+} 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的抑制作用明显大于其对 COD 的抑制作用,这一点说明硝化细菌比异养生物对重金属更为敏感^[10]。

2.2 Cu^{2+} 对好氧颗粒污泥外观形态的影响

从图 3 可以看出:空白样(未投加 Cu^{2+})的好氧颗粒污泥表面光滑,结构密实,轮廓清晰;随着 Cu^{2+} 质量浓度的增加,好氧颗粒污泥的密实度逐渐降低,而且颗粒污泥结构越来越松散,表面的丝状菌逐渐增多;在质量浓度为 10 mg/L 的 Cu^{2+} 影响下,颗粒污泥解体,暴露出颗粒内部的丝状菌骨架。根据 A/V 假说^[11],丝状菌比表面积大,抵抗“恶劣”环境的能力比菌胶团细菌强,因此在“恶劣”的环境中丝状菌一般为优势菌种。

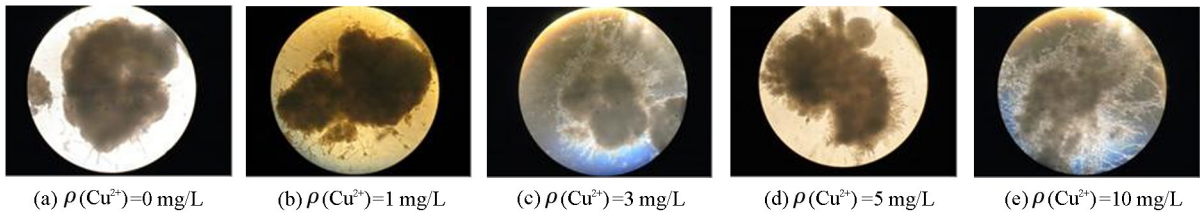


图 3 Cu^{2+} 对好氧颗粒污泥外观形态的影响

Fig. 3 Effect of Cu^{2+} on morphology of aerobic granular sludge

采用普通光学显微镜对好氧颗粒污泥的外观形态进行跟踪观察,发现随着 Cu^{2+} 质量浓度的增加,颗粒污泥中微型动物的种类和数目逐渐减少,在 10 mg/L 的 Cu^{2+} 作用下,基本检测不到微型动物的存在。好氧颗粒污泥中丰富的微生物相在污染物去除中具有重要作用,原、后生动物是污水处理效果的指示性微生物。

2.3 Cu^{2+} 对好氧颗粒污泥质量浓度和沉降性能的影响

不同质量浓度 Cu^{2+} 对污泥质量浓度和沉降性能的影响如图 4 所示。反应器中污泥质量浓度和沉降性能是影响工艺运行稳定性的基本要素,只有保持污泥质量浓度稳定,沉降性能良好,才能维持高效的除污能力和稳定的运行工况。

从图 4 可以看出,随着 Cu^{2+} 质量浓度的升高,好氧颗粒污泥质量浓度呈现出不断下降的趋势。分析认为, Cu^{2+} 进入生物细胞内,与蛋白质结合,使酶失去活性,导致菌体死亡,污泥松散、沉降性能变差,污泥大量流失^[12-13]。随着 Cu^{2+} 质量浓度从 0 mg/L 上升至 10 mg/L 时,污泥体积指数 SVI 从 4.24 mg/L 上升至 131.58 mg/L,沉降性能急剧恶化。重金属离子导致好氧颗粒污泥沉降性能差的原因主要有以下 2 点:(a) 重金属离子影响了好氧颗粒污泥内微生物的细胞活性,降低了微生物自身的絮凝作用^[14]。(b) 重金属离子大

量存在时,重金属离子可置换出污泥中的 H^+ ,从而使环境 pH 发生一定程度的下降,进而使活性污泥的沉降速度变慢^[15]。耐毒性较强的丝状菌大量增生可能是导致污泥沉降性能下降的主要原因。

2.4 Cu^{2+} 对好氧颗粒污泥物理特性的影响

粒径、含水率和相对密度是表征好氧颗粒污泥物理特性的基本指标,图 5 显示了不同质量浓度 Cu^{2+} 冲击作用对好氧颗粒污泥物理特性的影响。从图 5(a) 可以看出,随着 Cu^{2+} 质量浓度的增加,粒径 $d < 300\text{ }\mu\text{m}$ 和 $d > 1500\text{ }\mu\text{m}$ 的好氧颗粒污泥所占比例逐渐增大。当 Cu^{2+} 质量浓度分别为 0 mg/L 、 1 mg/L 、 3 mg/L 、 5 mg/L 和 10 mg/L 时,粒径 $d < 300\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒污泥分别为 15.97% 、 18.38% 、 23.75% 、 25.74% 和 29.35% ,粒径 $d > 1500\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒污泥分别为 0.09% 、 0.04% 、 5.80% 、 6.17% 和 11.33% 。分析认为, Cu^{2+} 对好氧颗粒污泥的结构性能产生了一定的影响,随着 Cu^{2+} 质量浓度的增加,反应器中出现了较多结构松散、表观尺寸较大的颗粒污泥以及分散细小的悬浮污泥。

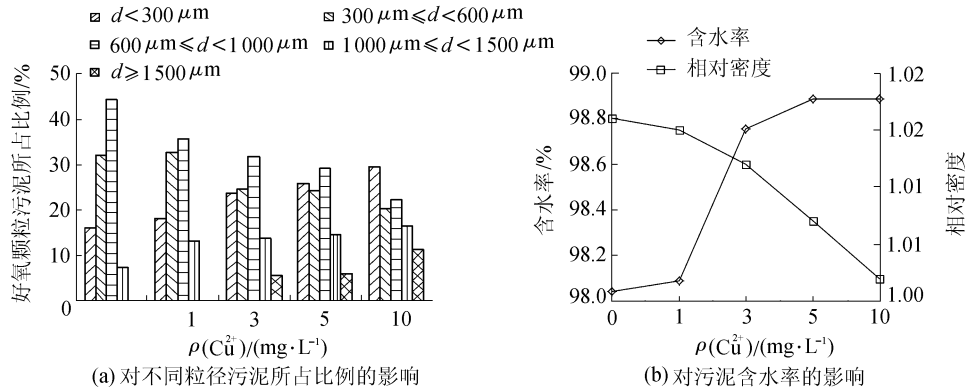


图 5 Cu^{2+} 对好氧颗粒污泥物理特性的影响

Fig. 5 Effect of Cu^{2+} on physical characteristics of aerobic granular sludge

而且从图 5(b) 中可以看出, Cu^{2+} 对好氧颗粒污泥的含水率和相对密度均有较大程度的影响,随着 Cu^{2+} 质量浓度从 0 mg/L 上升至 10 mg/L ,好氧颗粒污泥的含水率从 98.040% 上升至 98.887% ,相对密度由 1.016 下降至 1.002 。污泥含水率上升进一步验证了 Cu^{2+} 导致好氧颗粒污泥结构松散的猜想,好氧颗粒污泥密度下降也是导致其沉降性能变差的主要因素。

3 结 语

本文采用普通活性污泥作为接种污泥,葡萄糖和乙酸钠为碳源,在 SBR 反应器中培养好氧颗粒污泥。在好氧颗粒污泥培养成熟后,分别投加不同质量浓度的 Cu^{2+} (0 mg/L 、 1 mg/L 、 3 mg/L 、 5 mg/L 和 10 mg/L),考察其对好氧颗粒污泥理化特性的影响,得出以下结论:

- a. 质量浓度为 1 mg/L 和 3 mg/L 的 Cu^{2+} 对 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率影响较小,而质量浓度为 5 mg/L 和 10 mg/L 的 Cu^{2+} 对 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除率影响较大。
- b. 随着 Cu^{2+} 质量浓度的增加,好氧颗粒污泥的丝状菌逐渐增多,污泥浓度不断下降,沉降性能急剧恶化。
- c. 随着 Cu^{2+} 质量浓度的增加,好氧颗粒污泥密实度降低,结构松散,粒径出现两极分化的现象,而且在 10 mg/L 的 Cu^{2+} 作用下,好氧颗粒污泥解体。

参考文献:

[1] GUO Feng, ZHANG Shenghua, YU Xin, et al. Variations of both bacterial community and extracellular polymers: the

inducements of increase of cell hydrophobicity from biofloc to aerobic granule sludge[J]. Bioresource Technology, 2011, 102 (11): 6421-6428.

[2] CHEN Yao, JIANG Wenju, DAVID T L, et al. Aerobic granulation under the combined hydraulic and loading selection pressures[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(16): 7444-7449.

[3] de KREUK M K, KISHID N, TSUNEDA S, et al. Behavior of polymeric substrates in an aerobic granular sludge system[J]. Water Research, 2010, 44(20): 5929-5938.

[4] JAN S M, BEGONA O, MARIA A E E, et al. Biotreatment of industrial wastewaters under transient-state conditions: process stability with fluctuations of organic load, substrates, toxicants, and environmental parameters [J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2010, 40(2): 147-197.

[5] 朱维琴,张志,加紫薇,等.不同填埋污泥对 Cu²⁺、Zn²⁺吸附特性差异研究[J].环境科学,2010,31(7):1575-1578. (ZHU Weiqin, ZHANG Zhi, JIA Ziwei, et al. Comparative studies on the characteristics for Cu²⁺ or Zn²⁺ adsorption onto different landfilled sludge[J]. Environmental Science, 2010, 31(7): 1575-1578. (in Chinese))

[6] GARG S, GUPTA R K, JAIN K L. Sublethal effects of heavy metals on biochemical composition and their recovery in Indian major carps[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 163(2/3): 1369-1384.

[7] 奚旦立,孙裕生.环境监测[M].4版.北京:高等教育出版社,2010:111-143.

[8] 陈声贵,许木启,杨向平,等.原生动物在活性污泥中的作用[J].生态学杂志,2002,21(3):47-51. (CHEN Shenggui, XU Muqi, YANG Xiangping, et al. Role of protozoa in activated-sludge[J]. Chinese Journal of Ecology, 2002, 21(3): 47-51. (in Chinese))

[9] 谢冰.分子生物学技术研究铜锌重金属离子对活性污泥微生物的影响[D].上海:东华大学,2002.

[10] SIRIANUNTAPIBOON S, BOONCHUPLEING M. Effect of bio-sludge concentration on the efficiency of sequencing batch reactor (SBR) system to treat wastewater containing Pb²⁺ and Ni²⁺ [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 166(1): 356-364.

[11] 王凯军.活性污泥膨胀的机理与控制[M].北京:中国环境科学出版社,1992:7-17.

[12] 秦麟源.废水生物处理[M].上海:同济大学出版社,1989:27-28.

[13] OBBARD J P. Ecotoxicological assessment of heavy metals in sewage sludge amended soils[J]. Applied Geochemistry, 2001, 16: 1405-1411.

[14] 陈纯,何占航.重金属离子对活性污泥系统处理性能的影响[J].河南化工,2005(2):17-20. (CHEN Chun, HE Zhanhang. The effect on the capacity of activated sludge treatment system by heavy metal ions[J]. Henan Chemical Industry, 2005(2): 17-20. (in Chinese))

[15] MORGENROTH E. Aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor[J]. Water Research, 1997, 31(12): 3245-3248.

· 简讯 ·

河海大学获 126 项 2014 年度国家自然科学基金项目

2014 年 8 月 15 日国家自然科学基金委员会公布了 2014 年度国家自然科学基金申请项目评审结果,河海大学 2014 年度获得国家自然科学基金项目资助 126 项,其中:面上项目 51 项,青年科学基金项目 64 项,创新研究群体项目 1 项,国家杰出青年科学基金项目 1 项,优秀青年科学基金项目 2 项,重点项目 4 项(含 1 项国际合作重点项目),其他项目 3 项。

(本刊编辑部供稿)