

# Submerged Aquatic Plants Can Decrease Greenhouse Gas Emissions from a Pond of Xianshan Lake, Changxing

Le Yang<sup>1</sup>, Jun Wang<sup>1</sup>, Liming Fang<sup>2,3</sup>, Hepeng Li<sup>1</sup>, Hua Zhang<sup>1</sup>, Chunlei Yue<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou Zhejiang

<sup>2</sup>Forestry Bureau of Changxing County, Changxing Zhejiang

<sup>3</sup>Xianshan Lake National Wetland Park, Changxing Zhejiang

Email: [yangle3012@163.com](mailto:yangle3012@163.com)

Received: Mar. 17<sup>th</sup>, 2019; accepted: Apr. 1<sup>st</sup>, 2019; published: Apr. 8<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

Wetland is an important emission source for methane (CH<sub>4</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), which is crucial to global climate change. Thus, how to decrease greenhouse gases emissions from wetland is an important problem to study. Enclosure experiments are carried out to study impacts of submerged aquatic plants on greenhouse gases emissions. We plant *Vallisneria natans* and *Myriophyllum verticillatum* L. in 6 mesocosms (2 × 2 m) with different densities, i.e., 50 plants/m<sup>2</sup>, 100 plants/m<sup>2</sup>, 150 plants/m<sup>2</sup>, in a pond of Xianshan National Wetland Park. CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub>O emission fluxes are measured in each mesocosm by the floating chambers combined with a gas chromatogram after 15 days of replanting the submerged aquatic plants. The results indicate that CH<sub>4</sub> emissions from the mesocosms with submerged aquatic plants decrease 56.1% - 91.9% compared with the control group (waters without plants), and CO<sub>2</sub> emissions shift an original CO<sub>2</sub> source into a sink, but N<sub>2</sub>O emissions have no significant change. Therefore, it is an effective strategy to decrease greenhouse gases emissions by planting submerged aquatic plants in ponds, lakes or reservoirs.

## Keywords

*Vallisneria natans*, *Myriophyllum verticillatum*, Methane, Carbon Dioxide, Nitrous Oxide

# 长兴仙山湖沉水植物降低湿地中温室气体排放

杨乐<sup>1</sup>, 王珺<sup>1</sup>, 方黎明<sup>2,3</sup>, 李贺鹏<sup>1</sup>, 张华<sup>1</sup>, 岳春雷<sup>1</sup>

<sup>1</sup>浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州

<sup>2</sup>长兴县林业局, 浙江 长兴

<sup>3</sup>长兴县仙山湖国家级湿地公园, 浙江 长兴

文章引用: 杨乐, 王珺, 方黎明, 李贺鹏, 张华, 岳春雷. 长兴仙山湖沉水植物降低湿地中温室气体排放[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(2): 164-169. DOI: [10.12677/aep.2019.92025](https://doi.org/10.12677/aep.2019.92025)

Email: yangle3012@163.com

收稿日期: 2019年3月17日; 录用日期: 2019年4月1日; 发布日期: 2019年4月8日

## 摘要

湿地是甲烷(CH<sub>4</sub>)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)等温室气体重要的排放源, 对全球气候变暖产生重要的影响, 如何降低湿地温室气体排放是一项重要的课题。本实验选择长兴仙山湖国家湿地公园周边的池塘作为研究地点, 选取苦草(*Vallisneria natans*)、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum* L.)两种沉水植物, 在池塘中建立6个正方形围隔(2 × 2 m), 设置3个密度梯度(50株/m<sup>2</sup>、100株/m<sup>2</sup>、150株/m<sup>2</sup>)分别种植苦草(*V. natans*)、狐尾藻(*M. verticillatum* L.)。种植15天后, 采用静态浮箱-气相色谱法测定各个围隔中的CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O排放通量。结果表明, 与对照组(围隔外无植物覆盖水面)相比, 种植沉水植物围隔可使CH<sub>4</sub>排放通量降低56.1%~91.9%, 而将CO<sub>2</sub>的排放源变成吸收汇, 但对N<sub>2</sub>O排放的影响差异不显著。所以, 在池塘、湖泊、水库等湿地中种植沉水植物是降低湿地温室气体排放的有效策略。

## 关键词

苦草, 狐尾藻, 甲烷, 二氧化碳, 氧化亚氮

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

全球气候增温与大气中温室气体浓度的增加关系密切, 而湿地是温室气体重要排放源, “增汇减排”成为管理湿地碳排放的重要举措。在湿地中种植各类水生植物以提高生物量是增加湿地碳汇的重要手段[1], 但是挺水等湿地植物中空的茎却极大地提升甲烷(CH<sub>4</sub>)等温室气体的排放[2]。而每分子CH<sub>4</sub>的温室效应潜在在100年时间尺度上是二氧化碳(CO<sub>2</sub>)的25倍, 所以, 在湖库湿地中种植挺水和浮叶植物难以达到降低温室气体排放的预期。

沉水植物广泛分布于池塘、湖泊、水库等不同类型湿地中, 由于其具有显著的净化水质作用而受到关注, 并得到广泛的应用[3]。此外, 沉水植物具有降低温室气体排放的作用, 一方面, 由于其光合作用, 吸收CO<sub>2</sub>固定碳物质于植物组织内, 另一方面, 沉水植物的组织(茎、根、匍匐枝等)中附着的大量活性强的甲烷氧化菌, 这些甲烷氧化菌依赖厌氧环境和乙炔等底物而生存[4], 降低CH<sub>4</sub>的排放。本实验以苦草(*Vallisneria natans*)和狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum* L.)为例, 研究沉水植物对温室气体排放的影响。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究地概况

仙山湖国家湿地公园地处苏、浙、皖三省交界处, 位于浙江省湖州市长兴县泗安镇西部, 属于浙北平原区与浙西中山丘陵区交接地带, 地处中亚热带季风气候区, 年均气温13.9℃, 年均降水量1309 mm [5]。实验地点位于仙山湖湿地公园内, 仙山湖外围西北侧的一个池塘内, 面积约1000 m<sup>2</sup>, 水体浑浊, 能见度差, 水质属于V类水, 池塘内一端集中分布少量自然生长的野菱(*Trapa incisa* var. *sieb.*)。

## 2.2. 植物材料与实验设计

选择苦草(*V. natans*)和狐尾藻(*M. verticillatum L.*)湿地中常见的两种沉水植物作为实验材料,野生的野菱(*T. incisa*)代表浮叶植物,与沉水植物的结果进行比较。使用木桩制成围格框架,围隔大小为 $2 \times 2 \text{ m}$ ,使用聚乙烯厚塑料薄膜包围4个木桩,薄膜底部使用底泥封闭,确保内外水体相互隔离。一共制作6个围隔,相互间距2 m以上。在其中3个围隔中种植苦草(*V. natans*),分别均匀种植200株、400株、600株的苦草(*V. natans*);在另外3个围隔中也分别均匀种植200株、400株、600株狐尾藻(*M. verticillatum L.*),其对应的种植密度分别为 $50 \text{ 株/m}^2$ ,  $100 \text{ 株/m}^2$ ,  $150 \text{ 株/m}^2$ 。在围隔外,选择无植物覆盖的水面作为对照组,此外随机选择一野菱覆盖的水域作为浮叶植物的对照组。使用如下的简称代表各处理围隔与对照: KC1: 苦草 $50 \text{ 株/m}^2$ ; KC2: 苦草 $100 \text{ 株/m}^2$ ; KC3: 苦草 $150 \text{ 株/m}^2$ ; HW1: 狐尾藻 $50 \text{ 株/m}^2$ ; HW2: 狐尾藻 $100 \text{ 株/m}^2$ ; HW3: 狐尾藻 $150 \text{ 株/m}^2$ ; YL: 野菱; 对照: 围隔外无植物覆盖水面。

## 2.3. 浮箱设计与气体通量测量

使用静态浮箱-气相色谱法测定温室气体( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ )的通量。浮箱箱体由去除桶底的娃哈哈桶装矿泉水制成,横截面 $0.13 \text{ m}^2$ ,高 $0.35 \text{ m}$ ,箱体外侧套上一个救生圈。将浮箱放在种有沉水植物的围隔中,水面以上高为 $0.22 \text{ m}$ (部分箱体沉入水中以保持箱体内部的气体密封),箱体的顶端有一根约2米长的硅胶管(外径为 $6 \text{ mm}$ ,内径为 $4 \text{ mm}$ ),除采气管外,为了保持箱体内外压强的一致,还使用一根短硅胶管( $50 \text{ cm}$ 长)连接箱体外的大气,共有2个浮箱作为重复。在2018年6月14日天气晴朗的上午采集各个样方的气样,收集的方法为:在 $21 \text{ min}$ 内,分别在时间 $0, 7, 14, 21 \text{ min}$ 时,共收集4包气样。

将所有气袋带回实验室,将 $1 \text{ ml}$ 气样进到采用带有氢火焰离子检测器(FID)的气相色谱仪器(Agilent 7890A,安捷伦公司,美国)测定样品中的 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 浓度,带有微电子捕获检测器 $\mu\text{ECD}$ 测定样品中的 $\text{N}_2\text{O}$ 浓度。柱箱温度、进样器和检测器的温度分别为 $70, 25, 200^\circ\text{C}$ ,色谱柱采取长度为 $2 \text{ m}$ ,直径为 $3.2 \text{ mm}$ 的 $80\sim 100$ 目Porapak Q填充柱来分离气体,载气( $\text{N}_2$ )流速为 $25 \text{ ml/min}$ ,燃气( $\text{H}_2$ )和助燃气(空气)的流速分别为 $40$ 和 $400 \text{ ml/min}$ ,进样过程中每10个样品至少用一支标气( $\text{CO}_2$ :  $440 \text{ ppm}$ ,  $\text{CH}_4$ :  $1.77 \text{ ppm}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ :  $0.304 \text{ ppm}$ )进行校准。标准气体由国家标准计量中心提供。

温室气体通量的计算公式如式(1) [6]:

$$F = \rho \times \frac{dc}{dt} \times \frac{273.15}{273.15 + T} \times H \quad (1)$$

式(1)中, $F$ 为 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 或 $\text{N}_2\text{O}$ 通量, $\rho$ 为标准状况下( $20^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ atm}$ )温室气体的密度( $\text{CH}_4$ :  $0.714 \text{ kg/m}^3$ ;  $\text{CO}_2$ :  $1.977 \text{ kg/m}^3$ ;  $\text{N}_2\text{O}$ :  $1.962 \text{ kg/m}^3$ );  $H$ 为水面上浮箱的高度( $0.22 \text{ m}$ );  $dc/dt$ 为单位时间内箱体内部温室气体浓度的增加速率,在4个样点的线性回归中,取 $r^2 > 0.9$ 时的拟合线的斜率。

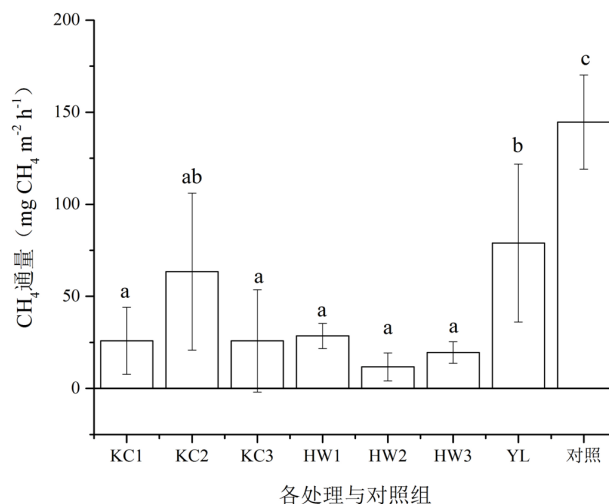
## 2.4. 统计与分析

首先使用Kolmogorov-Smirnov判断各围隔中温室气体排放通量是否符合正态分布,如果不符合,则使用初等函数转化使其满足正态分布,然后检验使用ANOVA(一维方差分析)和Tukey HSD检验方法比较沉水植物围隔中温室气体排放的差异是否达到显著差异水平( $p < 0.05$ )。

## 3. 结果

### 3.1. $\text{CH}_4$ 通量

$\text{CH}_4$ 排放通量与围隔中沉水植物的密度没有显著关系。在6个围隔实验中,KC2(苦草 $100 \text{ 株/m}^2$ )的



(图中柱状上的不同字母表示在  $p < 0.05$  的水平上, 不同围隔中甲烷排放通量的差异达到显著水平)

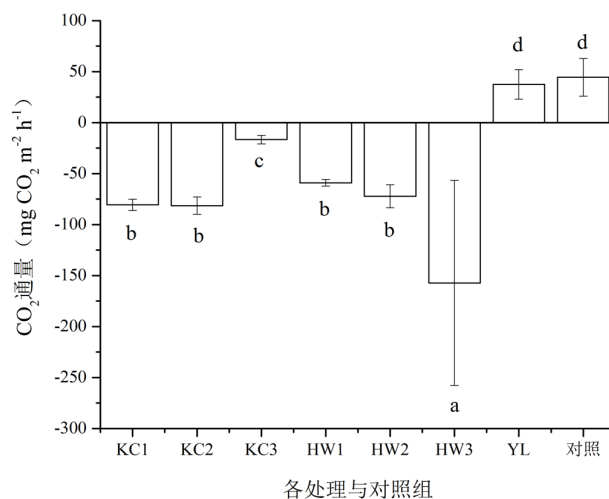
**Figure 1.** CH<sub>4</sub> emissions from the mesocosms with submerged plants, and control groups

**图 1.** 围隔中苦草、狐尾藻各处理及围隔外野菱和对照组的甲烷排放通量

CH<sub>4</sub> 排放通量最大( $63.41 \pm 42.64 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ), HW2 (狐尾藻  $100 \text{ 株/m}^2$ ) 的 CH<sub>4</sub> 排放通量最小( $11.70 \pm 7.53 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )。与围隔外的野菱覆盖水面、无植物覆盖水面相比, 围隔内种有沉水植物的 CH<sub>4</sub> 排放通量分别降低 19.7%~85.2%, 56.1%~91.9% (图 1)。

### 3.2. CO<sub>2</sub> 通量

种有沉水植物的围隔中 CO<sub>2</sub> 都为吸收通量, 围隔 KC3 (苦草  $150 \text{ 株/m}^2$ ) CO<sub>2</sub> 吸收通量显著低于苦草的



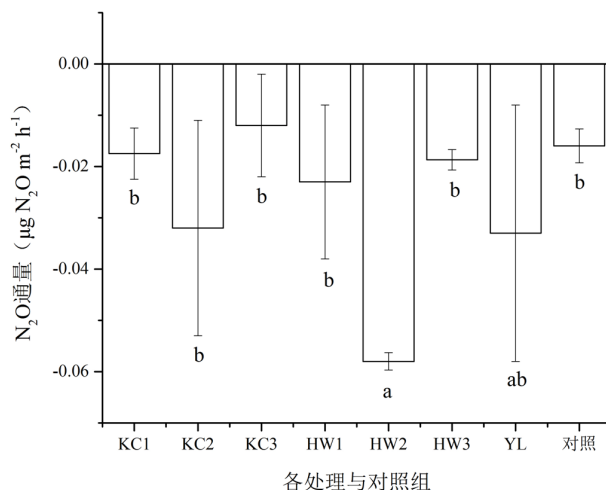
(图中负值代表 CO<sub>2</sub> 吸收通量, 正值代表 CO<sub>2</sub> 排放通量, 柱状上的不同字母表示在  $p < 0.05$  的水平上, 不同围隔中甲烷排放通量的差异达到显著水平)

**Figure 2.** CO<sub>2</sub> emissions from the mesocosms with submerged plants, and control groups

**图 2.** 围隔内苦草、狐尾藻各处理及围隔外野菱和对照组的二氧化碳排放通量

其它两个围隔(KC1, KC2), 围隔 HW3 (狐尾藻 150 株/m<sup>2</sup>) CO<sub>2</sub> 吸收通量显著高于狐尾藻(*M. verticillatum L.*) 的其它两个围隔(HW1、HW2; 图 2)。围隔外有野菱覆盖的水面和无植物覆盖的水面处 CO<sub>2</sub> 排放通量分别是  $37.48 \pm 14.52 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $44.46 \pm 18.45 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , 两者都为排放通量, 且差异不显著(图 2)。

### 3.3. N<sub>2</sub>O 通量



(图中负值代表 N<sub>2</sub>O 吸收通量, 柱状上不同字母表示在  $p < 0.05$  的水平上, 不同围隔中甲烷排放通量的差异达到显著水平)

**Figure 3.** N<sub>2</sub>O emissions from the mesocosms with submerged plants, and control groups

**图 3.** 围隔内苦草、狐尾藻各处理及围隔外野菱和对照组的氧化亚氮排放通量

围隔中所有处理及对照的 N<sub>2</sub>O 通量都呈吸收状态, 苦草(*V. natans*)的 3 个围隔 N<sub>2</sub>O 吸收通量为  $-0.012 \sim -0.032 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , 差异不显著; 狐尾藻的 3 个围隔中 HW2 的 N<sub>2</sub>O 吸收通量最大( $-0.058 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ), 显著高于其余两个围隔(HW1, HW3), 也高于围隔外对照( $-0.016 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 图 3)。

## 4. 讨论

沉水植物的 CH<sub>4</sub> 氧化可能是导致围隔中苦草(*V. natans*)和狐尾藻(*M. verticillatum L.*) CH<sub>4</sub> 排放通量下降的重要原因。沉水植物表面可以为甲烷氧化菌提供生态位, 沉水植物中 CH<sub>4</sub> 消耗速率远高于挺水植物 [7]。Heilman 和 Carlton (2001)发现沉水植物的地上茎、地下茎及匍匐茎都具有很强的氧化 CH<sub>4</sub> 能力, 一种狐尾藻属植物(*M. exalbesens*)白天净吸收 CH<sub>4</sub>, 夜间净排放 CH<sub>4</sub>, 添加甲基氟(抑制 CH<sub>4</sub> 氧化)后, 白天释放 CH<sub>4</sub>, 而夜间 CH<sub>4</sub> 排放通量值更大, 这表明沉水植物排放 CH<sub>4</sub> 能力被附着的甲烷氧化菌所控制 [8]。本实验围隔中的 CH<sub>4</sub> 排放通量与对照相比降低了 56.1%~91.9%, 很可能是附着在沉水植物茎及叶上的甲烷氧化菌氧化 CH<sub>4</sub> 小分子所致。野菱中的 CH<sub>4</sub> 排放通量也低于对照图(图 1), 说明浮叶植物的甲烷氧化菌氧化 CH<sub>4</sub> 能力低于沉水植物。

水棉(*Spirogyra spp.*)对水体中 CH<sub>4</sub> 排放有着不同的影响, 有水棉覆盖区域 CH<sub>4</sub> 排放通量高于无水棉覆盖区域, 因为水棉为产甲烷菌提供了更多的碳源, 提高 CH<sub>4</sub> 的产生 [9]。水棉属于低等丝状藻类, 与苦草、狐尾藻不同, 甲烷氧化菌难以附着在水棉上大量生长。

由于苦草(*V. natans*)、狐尾藻(*M. verticillatum L.*)的光合作用导致围隔内的 CO<sub>2</sub> 呈吸收状态, 但是围隔外的野菱水面和对照却呈 CO<sub>2</sub> 排放(图 2)。野菱的 CO<sub>2</sub> 排放源可能是由于其呼吸作用排放的 CO<sub>2</sub> 高于

其光合作用固定的 CO<sub>2</sub> 所导致的。对照组由于没有植物覆盖, 水体中溶解的 CO<sub>2</sub> 从水-气界面上释放到大气中。而比较围隔内外的 N<sub>2</sub>O 排放, 可以看出, 有无植物及植物种类对 N<sub>2</sub>O 排放的影响不显著。

## 5. 结论

沉水植物可以降低水体中 CH<sub>4</sub> 的排放, 同时将 CO<sub>2</sub> 的排放源转化成吸收汇, 达到降低湖库湿地温室气体排放的目的。所以, 在湖泊、水库底部湿地中种植沉水植物不仅可以净化水质, 而且是一个控制湖泊、水库湿地温室气体排放的有效策略。

## 致 谢

感谢辅国津在实验过程中给予的帮助。

## 基金项目

本实验得到国家自然科学基金(41303065)、浙江省省属科研院所扶持专项(2017F30016, 2018F10001)的支持。

## 参考文献

- [1] Klein, J. and Werf, A.K. (2014) Balancing Carbon Sequestration and GHG Emissions in a Constructed Wetland. *Ecological Engineering*, **66**, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.060>
- [2] 段晓男, 王效科, 欧阳志云. 维管植物对自然湿地甲烷排放的影响[J]. *生态学报*, 2005, 25(12): 3375-3382.
- [3] 苏丰, 李志安, 李应文, 李泳兴, 王发国, 庄萍. 几种水生植物及其组合对模拟污水的净化效果[J]. *环境保护前沿*, 2018, 8(5): 436-446.
- [4] Sorrell, B.K., Downes, M.T. and Stanger, C.L. (2002) Methanotrophic Bacteria and Their Activity on Submerged Aquatic Macrophytes. *Aquatic Botany*, **72**, 107-119. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(01\)00215-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(01)00215-7)
- [5] 张华, 李贺鹏, 王泳, 岳春雷, 刘政, 朱培. 仙山湖湿地土壤重金属空间分布特征与生态风险评价[J]. *浙江林业科技*, 2016, 36(6): 15-23.
- [6] 杨乐, 李贺鹏, 孙滨峰, 岳春雷. 新安江水库二氧化碳排放的时空变化特征[J]. *环境科学*, 2017, 38(12): 5012-5019.
- [7] Yoshida, N., Iguchi, H., Yurimoto, H., Murakami, A. and Sakai, Y. (2014) Aquatic Plant Surface as a Niche for Methanotrophs. *Frontiers in Microbiology*, **5**, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00030>
- [8] Heilman, M.A. and Carlton, R.G. (2001) Methane Oxidation Associated with Submersed Vascular Macrophytes and Its Impact on Plant Diffusive Methane Flux. *Biogeochemistry*, **52**, 207-224. <https://doi.org/10.1023/A:1006427712846>
- [9] Liang, X., Zhang, Z.Y., Sun, Q., He, C.Q., Chen, X.P., Liu, X.Y. and Chen, Z.L. (2016) The Role of Filamentous Algae *Spirogyra* spp. in Methane Production and Emissions in Streams. *Aquatic Sciences*, **78**, 227-239. <https://doi.org/10.1007/s00027-015-0419-2>

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [aep@hanspub.org](mailto:aep@hanspub.org)