

# 5种邛海人工湿地植物去污能力比较

曾忠强,刘杰,张梁,王雪梅,杨红

(西昌学院资源与环境学院,四川西昌 615013)

**摘要:**为了比较人工湿地废水处理中的湿地植物的去污能力,从中筛选出适宜人工湿地的湿地植物,并从邛海人工湿地采集5种植物,在相同浓度的生活废水中进行水培观察,对总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、化学需氧量(COD)的去除效果进行了比较,并从去污力、根系、管理难易、景观美化作用等方面指标进行综合评定。比较结果表明,大藻和菱角对总氮和总磷有较高的去除率,菖蒲对NH<sub>3</sub>-N、TN、TP的去除率表现最差,鸢尾、风车草、菖蒲对COD有明显的去除作用。

**关键词:**人工湿地;湿地植物;去除率

**中图分类号:**Q948.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2020)01-0057-05

## Comparison of the Decontaminating Capacities of Five Plants in Qionghai Lake Artificial Wetland

ZENG Zhongqiang, LIU Jie, ZHANG Liang, WANG Xuemei, YANG Hong

(School of Resources and Environment Science, Xichang University, Xichang, Sichuan 615013, China)

**Abstract:** To screen suitable plants for artificial wetlands of Qionghai Lake, we collected five varieties of emergent plants there and compared their decontaminating effects on polluted water. The contamination elements to be removed included total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), ammonia nitrogen (NH<sub>3</sub>-N) and chemical oxygen demand (COD). Comprehensive evaluation was carried out from the aspects of decontaminating capacity, root system, management and landscape beautification. The results showed that the TN and TP removal rates were higher in test groups of *Pistiastratiopica* and *Trapaincise*, the *Acoruscalamus* showed the lowest rate for NH<sub>3</sub>-N, TN and TP removals, and three varieties, i.e., *Iris tectorum* Maxim, *Cyperusalternifolius* and *Acoruscalamus* have obvious effect on COD removal.

**Keywords:** artificial wetland; emergent plant; decontaminating capacity

## 0 引言

人工湿地是一种能有效去除废水中氮(N)、磷(P)、生物需氧量(BOD)、固体悬浮物(SS)和部分重金属的废水处理系统<sup>[1]</sup>,相对于传统污水净化方法,人工湿地污水净化系统具有成本低、净化效果好且能够长期使用,维护工作简单等特点<sup>[2]</sup>。目前,国外已经广泛使用人工湿地来处理生活废水、养殖废水和渔业废水等<sup>[3]</sup>,我国也已经建造了许多人工湿地用于废水、污水的处理,但是这些湿地大多位于南方平原地区,少有邛海湿地<sup>[4]</sup>这样位于高原地区的人工湿地。邛海作为四川省第二大天然淡水湖泊,是凉山彝族自治州西昌市居民用水的主要水源地<sup>[5]</sup>,其沿岸的人工湿地总面积高达13.73 km<sup>2</sup>,在我

国现有的城市人工湿地中面积最大。但是受西昌市城市化发展以及旅游影响,邛海湿地面积不断减小,人为活动的加剧也使得湿地环境遭受破坏。基于此,针对邛海人工湿地的研究是十分必要的。

邛海人工湿地是邛海公园的重要组成部分,而植物是湿地的主体,湿地对水体的净化功能主要靠湿地植物起作用。湿地植物能够富集N、P等导致水体富营养化的污染物,以及其根系能够阻挡截留SS,除此之外,湿地植物还能够改善湿地处理床和微生物状况。湿地植物的去污能力一直受到许多学者的关注,过去,许多高校和研究机构对湿地植物进行了大量的研究,研究的湿地植物各不相同,比如芦苇(*Phragmitesaustralis*)、香蒲(*Typhalatifolia*)、茭白(*Zizaniacaduciflora*)、藯草

(*Phalarisarundinacea*)、蔗草(*Scirpuscommunis*)、水葱(*Scirpusvalidus*)、菖蒲(*Acoruscalamus*)、灯心草(*Juncuseffusus*)、荳苳(*Cyperusmalaccensis*)等<sup>[6-15]</sup>,而在邛海人工湿地当中,湿地植物共计61科250余种<sup>[16]</sup>,其中风车草、鸢尾、菖蒲、菱角、大藻在分布面积广,具有较好的观赏价值。此外,鸢尾、菖蒲具有一定的药用价值,菱角是国家二级保护植物<sup>[17]</sup>,大藻由于其繁殖迅速,已经被列为我国100种最危险入侵物种名单。综上,本研究选择了以上5种植物作为研究对象,对其去污能力进行比较,以期能够促进湿地植物在湿地水处理中的应用和发展。

本研究根据湿地的需要来明确评定原则,对照各种植物的特性筛选出了5种植物,再通过水培实验比较这5种湿地植物耐污和去污能力,最后再进行综合评定,确定其去除的污染物及去除率,以期能够达到促进湿地维护管理以及优化植物资源合理配置的目的。

### 1 实验材料与方法

#### 1.1 实验水体

采用的实验水体来自于西昌学院排水管道中的生活污水。

#### 1.2 受试植物

研究中所需的受试湿地植物来自于邛海人工湿地公园三期缺缺河人工湿地以及土城河人工湿地,见表1。

表1 供试植物

植物种	科名
鸢尾 <i>Iris tectorum Maxim</i>	鸢尾科 <i>Iridaceae</i>
风车草 <i>Cyperusalternifolius</i>	莎草科 <i>Cyperaceae</i>
菖蒲 <i>Acoruscalamus</i>	天南星科 <i>Araceae</i>
大藻 <i>Pistiastratiopica</i>	天南星科 <i>Araceae</i>
菱角 <i>Tra pa incise</i>	菱科 <i>Hydrocaryaceae</i>

注:\*采集地为邛海湿地公园三期缺缺河人工湿地;其余为邛海湿地公园三期土城河人工湿地。

#### 1.3 水培实验

根据人工湿地处理废水的需要,按照去污能力强、地上部分生物量大、病虫害少、抗倒状、易管理、有较好的景观价值等原则,通过查阅文献、咨询专业人士和实地考察,确定了5个实验用种(表1)。将在野外采集的植物经去土洗净后置于1 m×0.5 m×0.5 m的水箱中,在实验水体中适应性培养7 d。在经过适应性培养的植物中选择生长状况较好的植株进行水培实验。

将挑选好的5种受试植物通过相同浓度的生活

废水进行水培实验,实验在1 m×0.5 m×0.5 m的塑料水箱中进行。每个水培箱培养5株大小均匀,平均株高20 cm,根部清洗过的相同植物,用经水淘洗后的蛭石固定,实验设置2个平行,每个平行水培箱内栽培相同生物量的受试植物。每种植物实验持续时间为7 d,在培养时间分别为1、3、5、7 d时取样测定实验水体水质,以无植物的空白水样做对照,每天用蒸馏水补充蒸发水量。期间对植株存亡、萎蔫程度和比例、茎叶的生长状态(黄化、萎蔫、干枯、枯黄、下垂、卷起、分蘖数变化和植株高度变化)、根系的生长状况,以及病虫害、倒伏、景观等进行观察记录。

#### 1.4 检测方法

化学需氧量(COD)、总磷(TP)、总氮(TN)和氨氮(NH<sub>3</sub>-N)为主要测定指标。水样分别经预处理后,COD、TP、NH<sub>3</sub>-N采用分光光度法测定,TN采用紫外分光光度法测定。

#### 1.5 综合评定方法

根据人工湿地处理污水的实际需要,每种植物耐污力、地上部生物量、根系、景观、易管理等5个指标的重要性不同,赋予它们不同的权重,依次记作q<sub>1</sub>, q<sub>2</sub>, q<sub>3</sub>, q<sub>4</sub>, q<sub>5</sub>,其权重分别为30,25,25,10,10;不同植物在不同指标上表现不一样,等分也不一样,分别记为c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, c<sub>4</sub>, c<sub>5</sub>, M为每种植物综合得分<sup>[1]</sup>。其中, M计算方法如下:

$$M = \sum_{i=1}^5 c_i q_i + c_2 q_2 + \dots + c_i q_i。$$

### 2 结果与讨论

#### 2.1 5种植物水培养实验观察结果

5种植物水培养结果见表2。首先,受试的5种植物对环境的适应性较强,在实验的7 d时间里,刚开始出现了不同程度的枯萎,其中风车草的枯萎程度最为严重,但是这些植物都能从不同的生长状态转为正常生长。其次,从地上部分的根系来看,鸢尾、风车草、菖蒲、大藻的根系生长情况比较好,都能

表2 5种植物水培养实验观察结果

植物种	1 d	3 d	5 d	7 d
鸢尾 <i>I. tectorum</i>	c ↓	b ↓	b ↓	a ↓
风车草 <i>C.alternifolius</i>	c ↓	d ↓	d ↓	d ↓
菖蒲 <i>A. calamus</i>	b ↓	c ↓	b ↓	a ↓
大藻 <i>Pistiastratiopica</i>	b ↓	b ↑ ↓	b ↑ ↓	a ↑ ↓
菱角 <i>Trapa incise</i>	b	C	b ↑	a ↑

注:a、b、c和d表示植株地上部分生长状况,a:植株正常;b:轻度枯萎(<10%);c:部分枯萎(10%~50%);d:严重枯萎(>50%);↑:茎叶长出新芽;↓:根系长出新根

在实验中后期持续长出新根,并且大藻还开始繁殖出新的植株,菱角即使没有长出新根,但其在培养过程中长出了新芽。

### 2.2 5种植物对各种污染物的去除率比较

由图 1 可见,实验水体中的总氮浓度随时间变化逐渐降低,实验水体在 1 d 后 TN 浓度就显著下降,降低速率随时间变化而变化,总体呈现先快后慢的特点,其中大藻的 TN 浓度在实验期间除了第一天均略高于空白对照。比较各受试植物对污水总氮的去除率可见,5 种受试植物 7 d 的 TN 去除率均优于空白对照,大藻在培养 3 d 后才表现出对总氮的去除,去除率显著升高,而菖蒲、鸢尾等 1 d 后就表现出了较高的 TN 去除率。

在 NH<sub>3</sub>-N 的去除方面(图 2),受试植物对 NH<sub>3</sub>-N 的去除率均高于空白,并且在第 7 d 时实验水体中的 NH<sub>3</sub>-N 浓度达到最低,其中培养大藻和菱角的实验水体中的 NH<sub>3</sub>-N 浓度较低。

由图 3 可知,在实验水体中的 COD 由于不同植

物的特征波动较大,但 5 种受试植物在实验中表现出对 COD 有明显去除作用。经对比分析后,在 7 d 的水培实验中,受试植物对 COD 去除率由高到低分别为:鸢尾、菱角、大藻、菖蒲、风车草。

水培实验过程中,5 种受试植物对 TP 表现出的不同程度的去除率(图 4),并且都能达到 70% 以上,其中大藻、菱角的去除率最高。

### 2.3 5种植物的综合评定

为更全面的评价受试植物,通过去污力、地上生物部分生物量、根系、景观、易管理程度等五个方面综合考虑,对供试植物进行评分。5 种植物的综合评定结果见表 3。在实验的 5 种植物中,大藻的综合适应能力较强,易管理、景观美化作用较好,并且在去污能力上表现突出,且易于管理,但存在易过度生长蔓延造成二次污染的隐患,使用中应慎重;鸢尾在景观上表现突出,其他指标的表现也达到了一定的程度;风车草根系发达,虽然在去污力方面也具有一定的优势,茎秆较细,不抗倒,管理难

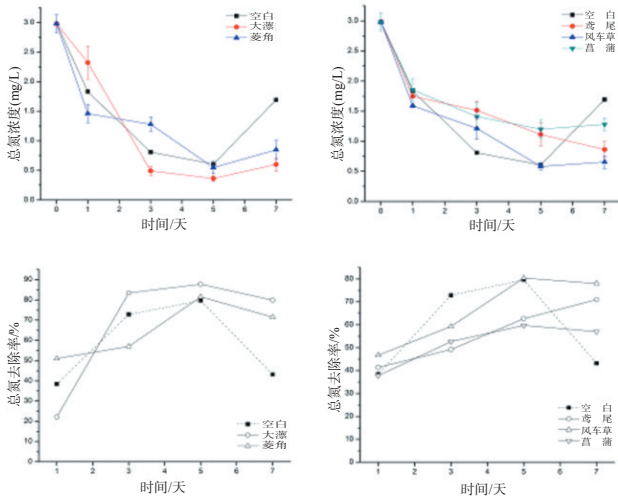


图 1 实验水体总氮浓度变化及不同植物总氮去除率变化

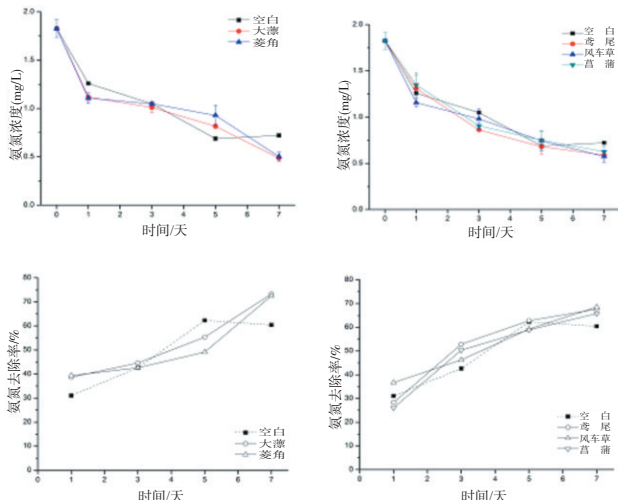


图 2 实验水体氨氮浓度变化及不同植物对氨氮去除率变化

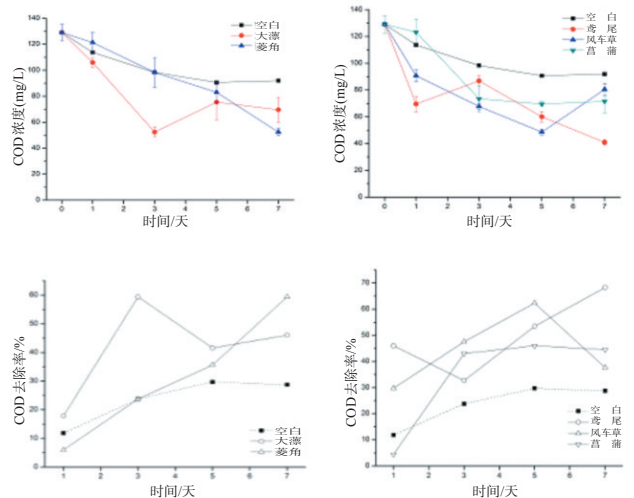


图 3 实验水体 COD 浓度变化及不同植物对 COD 去除率变化

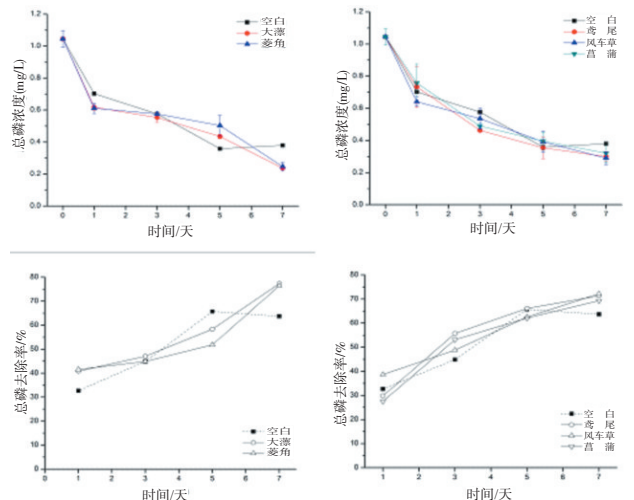


图 4 实验水体总磷浓度变化及不同植物对总磷去除率变化



于其他几种植物;菖蒲的去污力是几种植物中表现最差;菱角虽然其去污力表现较好,但是其根系表现较差。

除此之外,在实验过程中,空白水样的各项水质指标在实验初期出现了不同程度的下降,主要是由于加蒸馏水补充水量导致实验水体稀释的结果以及实验过程中污染物挥发导致其在实验水体自

行降低。在实验初期,空白水样还表现出实验组更高的污染物去除率,初步分析是受试植物移栽到新的水体环境中需要一段适应时间,在这段时间内,可能释放了植物体原有污染物,导致水体污染物浓度上升。在实验的5~7 d,空白水样的污染物指标出现了上升的现象,可能是由于实验采用静态培养,水体为死水,水体水质出现了恶化。

表3 5种植物对实验废水的适应性综合评定

植物种	去污力/30	地上部分生物量/25	根系/25	景观/10	易管理程度/10	总分	排序
鸢尾 <i>I. tectorum</i>	80/24.0	90/22.5	90/22.5	100/10.0	80/8.0	87	2
风车草 <i>C.alternifolius</i>	80/24.0	60/15.0	100/25	60/6.0	60/6.0	76	5
菖蒲 <i>A. calamus</i>	60/18.0	100/25.0	90/22.5	90/9.0	80/8.0	82.5	3
大藻 <i>Pistiastratiopica</i>	100/30.0	90/22.5	80/20.0	80/8.0	100/10.0	90.5	1
菱角 <i>Trapa incise</i>	90/27.0	90/22.5	50/12.5	80/8.0	70/7.0	77	4

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

TN、TP、COD、NH<sub>3</sub>-N 是水质的污染的重要指标,植物对水体中污染物的去除,使得水质达到稳定,是恢复水生态平衡的重要措施<sup>[18]</sup>。不同的受试植物对不同的污染物有不同的净化效果。对菖蒲、风车草、鸢尾3种受试植物已有的相关研究表明受试植物对生活污水净化起着相当重要的作用<sup>[19-21]</sup>。本实验和以上的研究得到了相似的结果,结果表明,5种受试植物中,在扣除空白后,大藻对实验废水中氨氮、总氮、总磷的去除率表现最佳,鸢尾对实验废水中COD的去除率表现最优,菖蒲对废水中氨氮、总磷、总氮的去除率比其他4种受试植物表现要差很多。其次,就去污力综合比较发现,大藻高于菱角,菱角高于鸢尾,鸢尾和风车草相近,风车草高于菖蒲。综合去污力、地上生物部分生物量、根系、景观、易管理程度等五个方面评定的结果表明,大藻和菖蒲可适于用作生活废水处理的人工湿地植物。

但是,李琳等<sup>[22]</sup>人在鸢尾和菖蒲不同器官对富营养化水体中的积累效应一文中研究得出植物在水中停留一段时间后会停止吸收污染物,甚至释放出污染物,需及时收割。本研究中的大藻在污染物去除率、景观价值上都表现较好,但是其繁殖能力极强,当大面积聚集于江河湖泊时,极易导致沉水植物死亡,影响水产养殖,甚至堵塞航道<sup>[23]</sup>。所以需要积极的研究以植物作为新资源回收利用的新型

工艺以及慎重的引进物种,避免因植物灭亡或大量滋生,造成水体的第二次污染,危害生态系统。

所选5种植物的生长周期和形态是不同的,植物的生长周期以及生长状态会影响其对实验水体的处理效果<sup>[24]</sup>。5种植物基本上都是由根对废水中的污染物进行吸收,但是如果根枯萎过多,新根生长太慢,也是会对废水处理效果产生影响的。而且,植物的生长周期也会对处理效果产生影响,例如其中大藻生命力极强,繁殖迅速迅速,生命周期短,可在短时间内吸收大量污染物,达到很好的处理效果。

#### 3.2 建议

针对邛海人工湿地的具体情况以及本研究的结果,提出以下建议:本实验为短期静态实验,可进一步进行长期动态的实验,避免因水质恶化而影响实验结果,继而优化植物筛选结果。

5种受试的受试植物均对水体中的氨氮、总氮、总磷、COD有一定的净化作用但是本研究只限单种植物对实验水体污染物的去除作用,可进一步开展对多种植物合理配置后对水体的净化效果的研究。

邛海湿地进水多为城市生活废水,水体的污染物主要为氮、磷,根据实验结果,可在湿地中合理的种植大藻,吸收净化水体中的氮磷,防止邛海水体富营养化,但存在易过度生长蔓延造成二次污染的隐患。同时,在实验后期,在栽培有菖蒲的实验水体中,总氮和COD的浓度有变大的趋势,可能会存在二次污染的现象。人工湿地中对大藻、菖蒲的种植应该严格管理,合理种植,合理收割。

#### 参考文献:

[1] GAGNON V, CHAZARENCO F, COMEAU Y, et al. Influence of macrophyte species on microbial density and activity in constructed wetlands[J]. Water Science and Technology; Wetland Systems for Water Pollution Control X, 2007, 56(3): 249-254.

- [2] 廖新梯,骆世明,吴银宝,等.人工湿地植物筛选的研究[J].草叶学报,2009,13(5):1004-5759.
- [3] BRISSON J,CHAZARENCO F.Maximizing pollutant removal in constructed wetlands: should we pay more attention to macrophyte species selection?[J].Science of the Total Environment, 2008, 407 (13):3923-3930.
- [4] Mike W,Nathalie F,Rachel G.Evaluation of algal bloom mitigation and nutrient removal in floating constructed wetlands with different macrophyte species[J].Ecological Engineering,2017,108(8):581-588.
- [5] 王雪梅,陈艺聪,胡金朝,等.邛海湿地天然生物膜对环境改变的响应[J].环境科学导刊,2019(2):42-48.
- [6] 袁云香.陕西黄河湿地芦苇的生长特性及生物量动态[J].科学技术与工程,2019(3):75-78.
- [7] 李冰,舒艳,李科林,等.人工湿地宽叶香蒲对重金属的累积与机理[J].环境工程学报,2016(4):2099-2108
- [8] 姚运先,刘晶晶,等.http://ss.zhizhen.com/javascript:checkConTypes(0,1);人工湿地野茭白对酸性重金属废水的处理效能研究[J].安徽农业科学,2010(23):12661-12662
- [9] 潘耕耘.纳帕海高原湿地的几种水生植物人工无性繁殖研究[D].昆明:西南林业大学,2010.
- [10] ZHAO X;TIAN K;YUE H. Growth stress of Scirpustabernaemontani of dominant plant in plateau wetland lakeshore to water level fluctuating[J].Guihaia,2015(35):303-308.
- [11] 张骞,李秀珍,张运清,等.长江口湿地氮施加对海三棱蔗草生长及生理特性的影响[J].草地学报,2017(1):115-121.
- [12] 成水平,况琪军,夏宜琤.香蒲、灯心草人工湿地的研究—净化污水的效果[J].湖泊科学,1997(4):351-359.
- [13] 张洪刚,洪剑明.人工湿地中植物的作用[J].湿地科学,2006(2):1672-5948
- [14] 邓东周,周廷玲,罗天发,等.邛海湿地恢复工程建设项目可行性分析[J].四川林业科技,2012,33(4):1003-5508.
- [15] 教子强,付嘉琦,桂双林,等.处理养猪废水的人工湿地植物筛选综述[J].家畜生态学报,2016,37(7):87-90+96.
- [16] 王雪梅,颜杰,胡金朝,等.四川邛海人工湿地综合评价[J].湿地科学与管理,2019(15):11-15
- [17] 刘锦安,杨洋,钟薇薇,等.浅谈津市菱角资源及其保护点建设[J].湖南农业科学,2013(24):37-38.
- [18] 郭俊秀,许秋瑾,金相灿,等.不同磷质量浓度对穗花狐尾藻和轮叶黑藻生长的影响[J].环境科学学报,2009,29(1):118-123.
- [19] 左小凤.4种水生植物对水体富营养化物质的吸收净化效果研究[D].重庆:西南大学,2010.
- [20] 李丽.11种湿地植物在污染水体中的生长特性及对水质净化作用研究[D].广州:暨南大学,2011.
- [21] 丁娜,王哲,朱远航.2种植物浮床在城市景观河道修复中的去污作用[J].贵州农业科学,2011,39(9):217-219.
- [22] 李琳,刘娜娜,达良俊.鳶尾和菖蒲不同器官对富营养化水体中的积累效应[J].环境污染与防治,2006,28(12):901-907.
- [23] 董志德,石亮成,黄桂珍,等.柳州市生态灾害植物外侵种的调查与对策[J].广西植保,2007(2):27-29.
- [24] 钟华男.11种观赏植物在人工湿地中的生长及对畜禽废水的净化效果研究[D].雅安:四川农业大学,2011.

(责任编辑:曲继鹏)

(上接第37页)

- [16] 卞利.明清徽州村落的自然和文化特征及其村落与民居关系研究[J].安徽建筑工业学院学报(自然科学版),2013,21(5):15-23.
- [17] 毕忠松,李运璋,曹毅.徽州古村落呈坎村文化内涵浅析[J].建筑与文化,2014(8):194-197.
- [18] 赵克理.顺天造物[M].北京:中国轻工业出版社,2008.
- [19] 吴灿新.论“天人合一”的生态和谐观[J].广东行政学院学报,2016,28(4):93-96.
- [20] 樊炎冰.中国徽派建筑[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [21] 李鸿明.“超以象外、得其寰中”——《考工记》中设计思想对于现代“VI”设计的启迪[J].美术观察,2017(1):96-99.
- [22] 黄炜,颜宏亮.传统建筑技术的适宜性改善策略研究——以徽州地区为例[J].住宅科技,2019,39(5):43-48.
- [23] 孟峰年.董守义体育思想研究:溯源、内涵及贡献[J].西北师大学报(社会科学版),2019,5(56):95-103.

(责任编辑:蒋召雪)