

不同沉水植物及其组合对水质的净化效果

钱珍余¹, 陈梅² (1. 重庆市生态环境监测中心, 重庆 401147; 2. 贵州省贵阳市花溪区生态文明建设局, 贵州贵阳 550025)

摘要 [目的]研究不同沉水植物及其组合对水质的净化效果。[方法]通过静态模拟试验,对3种不同的沉水植物(轮叶黑藻、苦草、粉绿狐尾藻)及其4种组合方式(苦+轮、苦+粉、轮+粉和苦+轮+粉)对水体中NH₃-N、TP和COD_{Mn}的净化效果进行研究。[结果]单一沉水植物中,苦草对水体中TP和COD_{Mn}的净化效果相对较好,最大去除率分别达52.3%和43.2%,轮叶黑藻对NH₃-N净化效果最佳,最大去除率达60.3%。4种组合方式中,苦+轮的水质净化效果相对最佳,对水体中NH₃-N、TP和COD_{Mn}的最大去除率分别达62.6%、58.6%和40.2%。[结论]综合分析3种沉水植物及其组合方式对NH₃-N、TP和COD_{Mn}的平均净化效果,轮叶黑藻、苦草、苦+轮和苦+粉的综合净化效果较好,表明轮叶黑藻、苦草、苦+轮和苦+粉更适合作为水体原位修复的种植植物。

关键词 沉水植物;轮叶黑藻;苦草;粉绿狐尾藻;组合;水质净化效果

中图分类号 X52 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)01-0064-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.01.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Purification Effect of Different Submerged Macrophytes and Their Combinations on Water Quality

QIAN Zhen-yu¹, CHEN Mei² (1. Ecological and Environment Monitoring Center of Chongqing, Chongqing 401147; 2. Ecological Civilization Construction Bureau of Guiyang Huaxi, Guiyang, Guizhou 550025)

Abstract [Objective] The research aimed to study the purification effect of different submerged macrophytes and their combinations on the water quality. [Method] The purification effect on NH₃-N, TP and COD_{Mn} in water were studied by three different submerged macrophytes such as *Hydrilla verticillata*, *Vallisneria natans*, *Myriophyllum aquaticum* and their four combinations (*Vallisneria natans*+*Hydrilla verticillata*, *Vallisneria natans*+*Myriophyllum aquaticum*, *Hydrilla verticillata*+*Myriophyllum aquaticum*, *Vallisneria natans*+*Hydrilla verticillata*+*Myriophyllum aquaticum*). [Result] In a single submerged macrophyte, the purification effect on TP and COD_{Mn} of *Vallisneria natans* was higher than the other two submerged macrophytes and the maximum removal efficiency reached 52.3% and 43.2%, respectively. The purification effect on NH₃-N of *Hydrilla verticillata* was higher than the other two submerged macrophytes and the maximum removal efficiency reached 60.3%. Among the four combinations, the purification effect on NH₃-N, TP and COD_{Mn} of combination between *Vallisneria natans* with *Hydrilla verticillata* was higher than the other three combinations and the maximum removal efficiency reached 62.6%, 58.6% and 40.2%, respectively. [Conclusion] Through comprehensive analysis, the average purification effect on NH₃-N, TP and COD_{Mn} by planting *Hydrilla verticillata*, *Vallisneria natans*, combination between *Vallisneria natans* with *Hydrilla verticillata*, combination between *Vallisneria natans* with *Myriophyllum aquaticum* are higher than others. This study proves that *Hydrilla verticillata*, *Vallisneria natans*, combination between *Vallisneria natans* with *Hydrilla verticillata*, combination between *Vallisneria natans* with *Myriophyllum aquaticum* are more suitable for planting in situ restoration of water bodies.

Key words Submerged macrophytes; *Hydrilla verticillata*; *Vallisneria natans*; *Myriophyllum aquaticum*; Combinations; Water purification effects

当前,我国部分城市河流、湖泊和水库等出现了不同程度的水体富营养化,各种水体修复技术随之应运而生,包括物理修复法、化学修复法、生物修复法和生态修复法等。此外还出现了一些较为新颖的水华防治技术,如 Hayden 等^[1]采用水力冲洗、深水混合控制藻类水华;Wang 等^[2]利用曝 CO₂ 气体调节水体 pH 抑制水华;Wu 等^[3]利用超声波控制藻类生长。其中沉水植物修复技术具有改善水体溶解氧、水下光照强度等优势^[4],可抑制藻类生长,能有效增加水体空间生态位,为其他水生动物提供生存空间和产卵栖息地,是水生生态系统中的重要组成部分^[5],在水体原位修复中扮演重要角色。针对不同沉水植物的水质净化效果已有很多研究^[6-9],但由于不同沉水植物生存环境不同,研究其水质净化效果还需结合当地实际,钟运芳等^[10]调查发现重庆本土常见的沉水植物有 24 种,其中分布较广的包括黑藻、亚洲苦草、竹叶眼子菜、穗花狐尾藻、轮叶狐尾藻、金鱼藻、菹草、小叶眼子菜、大茨藻等。而粉绿狐尾藻目前在多项工程中得到了应用,比如重庆市苦溪河长生桥镇河段生态修复工程^[11]。

为此,笔者选取苦草、轮叶黑藻和粉绿狐尾藻作为研究对象,研究这 3 种沉水植物及其组合方式对水质的净化效果,为沉水植物的筛选提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验选取的沉水植物和基质均在重庆市望海花市购买。沉水植物包括苦草、轮叶黑藻和粉绿狐尾藻,购回后,将其分株、洗净,然后将其整体置于盛有清水的塑料桶中预培养、备用。基质材料选取白石子,购回后洗净,烘干备用。试验培养容器为上口径 34 cm、下口径 27 cm、高 35 cm 的塑料桶,容积为 20 L;上口径 20 cm、下口径 14 cm、高 7 cm 的塑料篮。

1.2 供试水样 试验水样为人工配制,水样的成分及用量见表 1。

1.3 试验设计及方法 试验分两组进行对比分析,分别为单一沉水植物组(以下简称“单沉组”)和沉水植物组合组(以下简称“沉合组”)。单沉组是将 3 种沉水植物进行单独培养,而沉合组是 3 种沉水植物的 4 种组合方式,具体见表 2。试验为期 30 d。

试验时,在每个试验桶中分别放入 1 个型号大小相同的塑料篮,然后分别铺设厚度为 5 cm 白石子,预留出植物根系

基金项目 重庆市科学与技术发展委员会项目(CSTC2010AA0020)。
作者简介 钱珍余(1990—),女,重庆人,硕士,从事水污染控制与资源化利用等研究。
收稿日期 2018-08-14

所需要的空间。然后,按照表 2 称取相应的初始生物量的沉水植物,种植到相应的各个塑料篮中,空白组不种植沉水植物和放置基质材料。最后,向每个试验组分别缓慢加入 15 L 人工配制水样。试验期间,采用自来水补充蒸发水分,以保持试验桶内水位不变。各试验组均在避雨条件和自然光照下进行。

表 1 试验水样配制及浓度

Table 1 Preparation and concentrations of experimental water

试剂 Reagent	分子量 Molecular weight	配制浓度 Preparation concentration mg/L	用量 Dosage
$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$	228 g/mol	1 mg/L	0.110 g
NH_4Cl	53.5 g/mol	2 mg/L	0.115 g
葡萄糖标准溶液 Glucose standard solution	—	10 mg/L	1.5 L
蒸馏水 Distilled water	—	—	13.5 L

表 2 沉水植物筛选试验设计

Table 2 Experimental design of screening of submerged macrophyte

组别 Group	植物名称 Plant name	简称 Abbreviation	植物重量 Plant weight//g
空白组 Blank group	无	—	0
单沉组 Single submerged macrophyte group	苦草	—	120
	轮叶黑藻	—	120
	粉绿狐尾藻	—	120
沉合组 Submerged plant combination group	苦草+轮叶黑藻	苦+轮	各 60
	苦草+粉绿狐尾藻	苦+粉	各 60
	轮叶黑藻+粉绿狐尾藻	轮+粉	各 60
	苦草+轮叶黑藻+粉绿 狐尾藻	苦+轮+粉	各 40

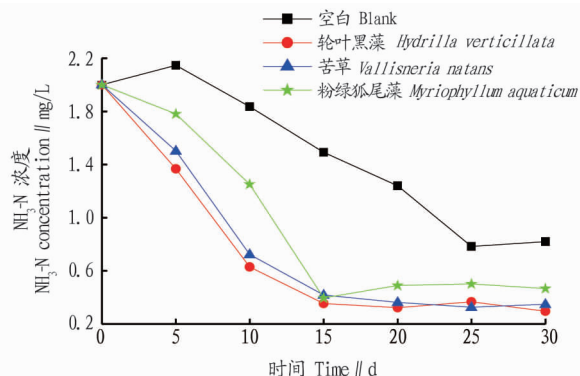
1.4 测定项目及方法 试验测定指标包括氨氮(NH_3-N)、总磷(TP)和高锰酸盐指数(COD_{Mn})。 NH_3-N 采用纳氏试剂分光光度法,TP采用钼酸铵分光光度法, COD_{Mn} 采用高锰酸盐指数法。试验开始后,在第 5、10、15、20、25 和 30 天分别取一定水样进行水质指标测定。

2 结果与分析

2.1 单一沉水植物对 NH_3-N 、TP 和 COD_{Mn} 的净化效果

2.1.1 对 NH_3-N 的净化效果。从图 1 可以得出,轮叶黑藻、苦草和粉绿狐尾藻所在水体中 NH_3-N 浓度都呈下降趋势且下降幅度均大于空白组,3 种沉水植物对 NH_3-N 都有一定的去除效果;试验初期和中期,3 种沉水植物对 NH_3-N 的去除效果较高,后期部分沉水植物出现枯黄腐烂现象,3 种沉水植物对 NH_3-N 的去除效率逐渐下降。同时,由于不同沉水植物的生理特点、净化机理等不同,所以不同沉水植物对 NH_3-N 的去除效果也不尽相同。从水体 NH_3-N 浓度变化趋势可以看出,轮叶黑藻对 NH_3-N 的净化效果相对最佳,其中 NH_3-N 去除率最大达 60.3%;其次是苦草,其对 NH_3-N 去除率最大达 55.6%;最后是粉绿狐尾藻,对 NH_3-N 去除率最大达 54.8%。

2.1.2 对 TP 的净化效果。从图 2 可以看出,轮叶黑藻、苦草和粉绿狐尾藻所在水体中的 TP 浓度均有较为明显的下降,且下降速率和幅度均大于空白组,说明 3 种沉水植物对

图 1 3 种沉水植物所在水体中 NH_3-N 浓度变化Fig. 1 Change of NH_3-N concentration in the water of three submerged macrophytes

水体中的 TP 都有较为明显的去除效果,并且在试验中期,3 种沉水植物对 TP 的去除效果较高。从水体 TP 浓度变化趋势可以看出,苦草对 TP 的去除效果相对最为明显,其对 TP 的去除率最大达 52.3%;其次是轮叶黑藻,其对 TP 的去除率最大达 48.8%;最后是粉绿狐尾藻,其对 TP 总磷的去除率最大达 39.9%。

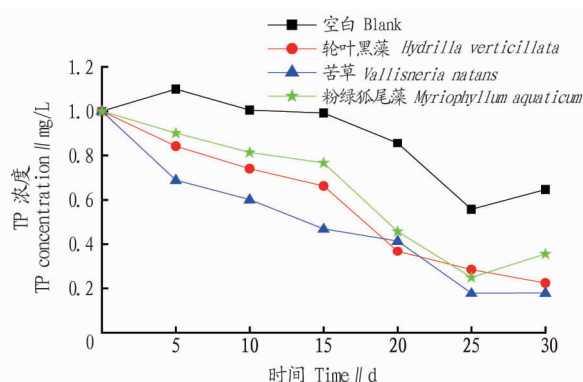


图 2 3 种沉水植物所在水体中 TP 浓度变化

Fig. 2 Change of TP concentration in the water of three submerged macrophytes

2.1.3 对 COD_{Mn} 的净化效果。从图 3 可以看出,轮叶黑藻、苦草和粉绿狐尾藻所在水体中 COD_{Mn} 浓度都呈现不同程度的下降趋势,且趋势明显大于空白组;轮叶黑藻、苦草和粉绿狐尾藻对 COD_{Mn} 均有较为明显的净化效果,试验期间,苦草对 COD_{Mn} 的去除率最大达 43.2%,轮叶黑藻对 COD_{Mn} 的去除率最大达 36.5%,而粉绿狐尾藻对 COD_{Mn} 的去除率最大达 19.6%。从图中可以看出,苦草的去除效果最佳,其次是轮叶黑藻,最后是粉绿狐尾藻。试验结束时,苦草、轮叶黑藻和粉绿狐尾藻所在水体中 COD_{Mn} 浓度分别为 3.34、3.81 和 6.23 mg/L,对 COD_{Mn} 的去除率分别为 39.7%、35.0% 和 10.8%。

2.2 3 种沉水植物的 4 种组合方式对 NH_3-N 、TP 和 COD_{Mn} 的净化效果

2.2.1 对 NH_3-N 的净化效果。从图 4 可以看出,3 种沉水植物的 4 种组合方式的水体中的 NH_3-N 浓度都呈下降趋势,且下降趋势均明显大于空白;苦+轮、苦+粉、轮+粉和苦+

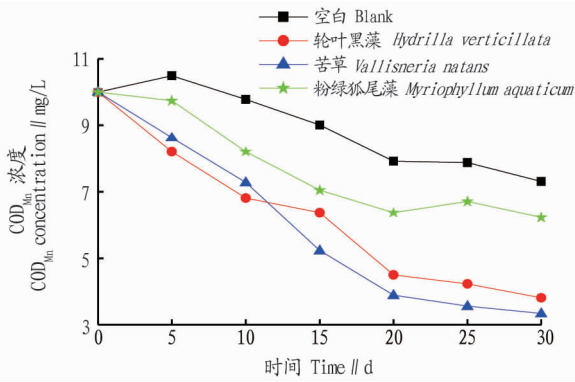


图3 3种沉水植物所在水体中 COD_{Mn} 浓度变化

Fig. 3 Change of COD_{Mn} concentration in the water of three submerged macrophytes

轮+粉对水体中的 NH_3-N 都有不同程度的净化效果,试验期间,随着3种沉水植物的4种组合方式逐渐适应环境,它们对 NH_3-N 的去除率均呈上升趋势,并在试验中期达到最大,其中苦+轮对 NH_3-N 的去除率最大,达62.6%,后期随着水体中 NH_3-N 浓度的不断下降和部分沉水植物水下部分叶片出现枯黄腐烂现象,4种组合方式对 NH_3-N 的去除率也逐渐下降。从水体 NH_3-N 浓度变化趋势可以看出,苦+轮对 NH_3-N 净化效果最佳,其次是苦+粉,再次是轮+粉,最后是苦+轮+粉。

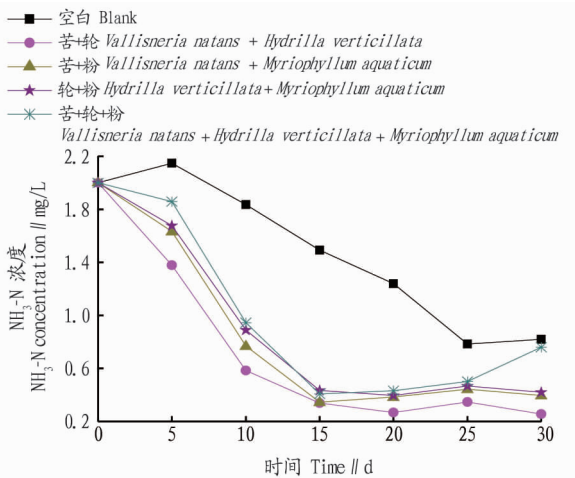


图4 沉水植物组合所在水体中 NH_3-N 浓度变化

Fig. 4 Change of NH_3-N concentration in the water of combinations of submerged macrophytes

2.2.2 对 TP 的净化效果。从图5可以看出,3种沉水植物的4种组合方式所在水体中的TP浓度都呈现较为明显的下降趋势,且下降幅度均大于空白组;由于3种沉水植物都各有特点,使得4种组合方式也各具特点,因此它们对水体中的TP呈现出不同程度的净化效果。从水体TP浓度变化趋势可以看出,苦+轮对TP的去除效果最佳,其去除率最大达58.6%;其次是苦+轮+粉,其对TP的去除率最大达55.4%;再次是苦+粉,其对TP的最大去除率达52.3%;最后是轮+粉,其对TP的最大去除率达39.8%。

2.2.3 对 COD_{Mn} 的净化效果。从图6可以看出,3种沉水

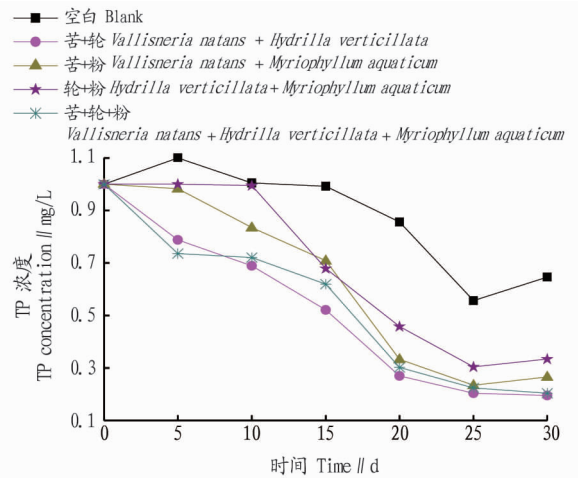


图5 沉水植物组合所在水体中 TP 浓度变化

Fig. 5 Change of TP concentration in the water of combinations of submerged macrophytes

植物的4种组合方式的水体中 COD_{Mn} 浓度都呈下降趋势,且下降幅度明显大于空白;4种沉水植物组合方式对水体中的 COD_{Mn} 都有不同程度的净化效果。从水体 COD_{Mn} 浓度变化趋势可以看出,苦+轮对 COD_{Mn} 的去除效果最佳,其对 COD_{Mn} 的去除率最大达40.2%;其次是苦+粉,其对 COD_{Mn} 的去除率最大达32.3%;再次是苦+轮+粉,其对 COD_{Mn} 的去除率最大达27.5%;最后是轮+粉,其对 COD_{Mn} 的去除率最大达17.0%。

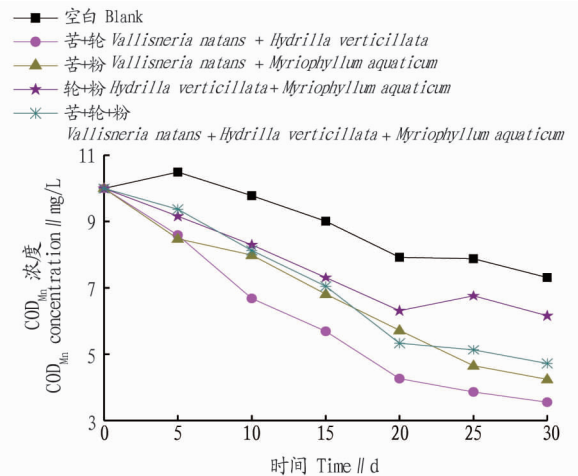


图6 沉水植物组合所在水体中 COD_{Mn} 浓度变化

Fig. 6 Change of COD_{Mn} concentration in the water of combinations of submerged macrophytes

2.3 综合分析 由于不同沉水植物具有不同特点,导致不同的沉水植物及其组合对 NH_3-N 、TP 和 COD_{Mn} 的净化效果也不尽相同。同时,它们在不同时期对 NH_3-N 、TP 和 COD_{Mn} 的净化效果也不相同。因此,应分析3种沉水植物及其4种组合方式分别对水体中 NH_3-N 、TP 和 COD_{Mn} 的综合去除效果;同时,还应分析它们在不同时期对 NH_3-N 、TP 和 COD_{Mn} 的净化效果。首先通过扣除空白组水体自身对污染物的自净作用后,计算得出3种沉水植物及其4种组合方式每次对 NH_3-N 、TP 和 COD_{Mn} 的去除率,再将计算得出3种沉水植物

及其 4 种组合方式对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 和 COD_{Mn} 的 6 次去除率进行平均即得出平均去除率(图 7)。

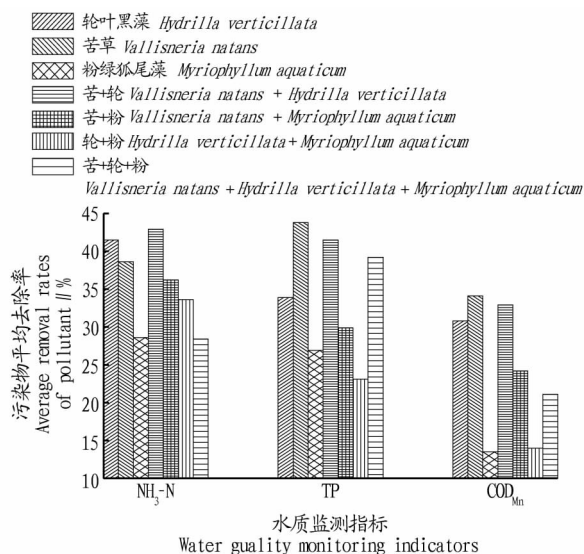


图 7 3 种沉水植物及其组合对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 和 COD_{Mn} 的平均去除率

Fig. 7 The average removal rates of three submerged macrophytes and their combinations for $\text{NH}_3\text{-N}$, TP and COD_{Mn}

从图 7 可以看出,3 种沉水植物及其组合对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均去除率从大到小依次为苦+轮(42.9%)、轮叶黑藻(41.5%)、苦草(38.6%)、苦+粉(36.2%)、轮+粉(33.6%)、粉绿狐尾藻(28.6%)、苦+轮+粉(28.4%);对 TP 的平均去除率从大到小依次为苦草(43.8%)、苦+轮(41.5%)、苦+轮+粉(39.2%)、轮叶黑藻(33.9%)、苦+粉(29.9%)、粉绿狐尾藻(26.9%)>轮+粉(23.1%);对 COD_{Mn} 的平均去除率从大到小依次为苦草(34.1%)、苦+轮(32.9%)、轮叶黑藻(30.8%)、苦+粉(24.2%)、苦+轮+粉(21.1%)、轮+粉(14.0%)、粉绿狐尾藻(13.5%)。因此,通过综合分析 3 种

沉水植物及其组合方式对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 和 COD_{Mn} 的平均净化效果,发现轮叶黑藻、苦草、苦+轮和苦+粉的综合净化效果较好,更适合作为水体原位修复的种植植物。

3 结论

(1) 3 种沉水植物(轮叶黑藻、苦草、粉绿狐尾藻)对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 和 COD_{Mn} 均有一定的净化效果,且苦草对 TP 和 COD_{Mn} 水质净化效果相对最佳。

(2) 3 种沉水植物的 4 种组合方式(苦+轮、苦+粉、轮+粉和苦+轮+粉)对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 和 COD_{Mn} 均有一定的净化效果,且苦+轮对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 和 COD_{Mn} 的水质净化效果较好。

(3) 综合分析,轮叶黑藻、苦草、苦+轮和苦+粉的综合净化效果较好,更适合作为水体原位修复的种植植物。

参考文献

- [1] HAYDEN N J, ROELKE D L, BROOKS B W, et al. Beyond hydraulic flushing: Deep water mixing takes the harm out of a haptophyte algal bloom [J]. Harmful algae, 2012, 20: 42-57.
- [2] WANG X, HAO C B, ZHANG F, et al. Inhibition of the growth of two blue-green algae species (*Microcystis aeruginosa* and *Anabaena spiroides*) by acidification treatments using carbon dioxide [J]. Bioresource technology, 2011, 102(10): 5742-5748.
- [3] WU X G, JOYCE E M, MASON T J. The effects of ultrasound on cyanobacteria [J]. Harmful algae, 2011, 10(6): 738-743.
- [4] 钱珍余, 王晓雪, 钟成华, 等. 不同基质对苦草净化水质效果的影响 [J]. 安徽农业科学, 2014, 42(36): 13001-13004.
- [5] 胡蓬, 万成炎, 沈建忠, 等. 沉水植物在富营养化水体生态恢复中的作用及前景 [J]. 水利渔业, 2006, 26(5): 69-71.
- [6] 王丽卿, 李燕, 张瑞雷. 6 种沉水植物系统对淀山湖水质净化效果的研究 [J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3): 1134-1139.
- [7] 孙作登, 宋祥甫, 付子斌, 等. 不同沉水植物对水质净化效能的研究 [J]. 上海农业学报, 2012, 28(2): 30-35.
- [8] 常素云, 吴涛, 赵静静. 不同沉水植物组合对北大港水库水体净化效果的影响 [J]. 环境工程学报, 2016, 10(1): 439-444.
- [9] 任文君, 田在锋, 宁国辉, 等. 4 种沉水植物对白洋淀富营养化水体净化效果的研究 [J]. 生态环境学报, 2011, 20(2): 345-352.
- [10] 钟运芳, 王慈生, 熊天寿. 重庆市江河鱼类饵料生物——水生维管束植物 [J]. 重庆师范学院学报(自然科学版), 1994, 11(2): 48-52.
- [11] 钟成华, 王海, 曾雪梅, 等. 苦溪河长桥镇河段污染水体的生态修复工程实践 [J]. 三峡环境与生态, 2013, 35(4): 56-59.

(上接第 48 页)

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业部公告第 2651 号: 2018 年第一批农产品地理标志产品公告信息 [A]. 2018-02-12.
- [2] 肖维德. 中国共产党沂南县村级组织史(1925-2006) [M]. 北京: 中央文献出版社, 2006: 1047.
- [3] 山东省沂南县地方志编纂委员会. 沂南县志(1990-2005) [M]. 济南: 山东画报出版社, 2012: 251.
- [4] 刘国琴, 高中强, 丁习武. 无公害食品 塑料大棚芹菜生产技术规程 [J]. 山东蔬菜, 2010(4): 31-33.

- [5] 焦自高, 王连建, 柳涛. 芹菜栽培新技术一点通 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1996: 21.
- [6] 张丽娟. 日光温室芹菜无公害栽培技术操作规程 [J]. 北京农业, 2012(21): 39-40.
- [7] 李建明. 温室大棚芹菜高产栽培新技术 [M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2005: 77.
- [8] 李光民, 代聪和, 刘金霞. 冬暖式大棚芹菜优质高产栽培技术 [J]. 吉林蔬菜, 2012(7): 1-2.
- [9] 中华人民共和国农业部. 绿色食品 农药使用准则: NY/T 393—2013 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [10] 宋元林. 芹菜优质高产栽培 [M]. 2 版. 北京: 金盾出版社, 2017: 148.