

# 不同浓度氨氮对 5 种沉水植物生长的影响

高奇英, 朱文君, 刘晓波, 蓝于倩, 莫俊宁, 沈文钢

(深圳市铁汉生态环境股份有限公司, 广东 深圳 518040)

**摘要:**通过试验研究, 筛选出能够耐受高浓度氨氮的沉水植物, 构建有效的生态系统并改善湖泊水质, 对黑臭水体治理具有现实意义。探讨了苦草(*Vallisneria natans*)、穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、黑藻(*Hydrilla verticillata*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)和小茨藻(*Najas minor*)5 种沉水植物对氨氮的耐受性, 每种沉水植物均设置氨氮浓度为 0、4、8、12、16 mg/L 共计 5 个梯度, 研究其生长情况和生理指标的变化。结果显示, 在 4~16 mg/L 氨氮持续胁迫至第 14 天时, 苦草叶绿素和可溶性蛋白的生成受到抑制作用逐渐加大, 4、8、12、16 mg/L 氨氮试验组中的叶绿素含量与对照组相比, 第 14 天比第 7 天分别减少 44%、57%、16% 和 39%, 可溶性蛋白含量分别减少 62%、24%、29% 和 49%, 而 MDA 含量在第 14 天分别显著降低为第 7 天的 35%、7%、65% 和 41%, 表明苦草未受到不可逆伤害。在 4 mg/L 氨氮持续胁迫下, 第 14 天时, 穗花狐尾藻和黑藻的 MDA 含量分别显著增加为第 7 天的 207% 和 178%, 小茨藻植株死亡, 而金鱼藻的叶绿素和可溶性蛋白均未有显著变化, 且 MDA 含量显著减少为第 7 天的 80%, 表明只有金鱼藻未受到氨氮的不可逆毒害。在 8~16 mg/L 氨氮持续胁迫下, 穗花狐尾藻、黑藻、小茨藻和金鱼藻的植株则全部死亡。研究表明, 氨氮浓度  $\leq 4$  mg/L 时, 苦草和金鱼藻能够生长; 氨氮浓度  $\leq 16$  mg/L 时, 苦草能维持较长时间的生存。从耐氨氮和黑臭水体治理过程水质特征考虑, 苦草可作为黑臭水体治理中水生态系统构建的先锋沉水植物。

**关键词:**沉水植物; 氨氮; 生长; 生理指标

**中图分类号:** X171   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1674-3075(2019)06-0067-06

2016 年黑臭水体摸底排查结果显示, 在全国 295 座地级及以上城市中, 只有 77 座城市城市没有发现黑臭水体, 其余 218 座城市中共有黑臭水体 1861 个, 其中河流 1595 条, 湖、塘 266 个(蒲琴, 2016); 近年来, 黑臭水体治理已成为研究的热点, 污染源主要来自生活污水、工业废水、垃圾和面源污染(侍宇, 2017), 部分地区还来自养殖废水等。根据《城市黑臭水体工作指南》的污染程度分级标准: 轻度黑臭水体氨氮浓度为 8~15 mg/L, 重度黑臭水体氨氮浓度为  $>15$  mg/L(住房和城乡建设部, 2015)。城市黑臭水体整治主要遵循“截污-治水-生态修复”的总体思路(王少林, 2017); 目前大多数黑臭水体的治理目标要求治理后氨氮浓度  $\leq 1.5$  mg/L(国家环境保护总局, 2002), 但目前截污后的污水治理出水氨氮浓度  $\leq 5$  mg/L(国家环境保护总局, 2002)。在截污不彻底或者雨天面源污染较严重时, 进入水体的污水氨氮浓度可能  $>8$  mg/L, 这需加大投资, 使污水治理出水达到氨氮浓度  $\leq 1.5$  mg/L 的标准。

为节省成本, 采用生态修复措施对水质进行提升成为新的技术选择。

水生植物是水生态系统保持良性发育的关键生态类群, 其中沉水植物对环境胁迫的反应最为敏感。在黑臭水体治理过程中, 利用生态修复措施对水质进行提升, 沉水植物存在受氨氮胁迫的风险(Farnsworth-Lee & Baker, 2000)。因此, 在黑臭水体治理中, 筛选出能够耐受高浓度氨氮的沉水植物, 构建健康有效的生态系统, 对湖泊水质改善, 具有现实意义。本文选取常见的 5 种沉水植物, 研究其在不同氨氮浓度条件下生长情况以及生理指标的变化, 比较其对不同氨氮浓度的适应性, 筛选出适用于黑臭水体水生态修复的耐氨氮先锋物种。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

沉水植物苦草、穗花狐尾藻、黑藻、金鱼藻和小茨藻均采自某水生植物基地的水塘, 选取生长良好、形态大小一致的作为实验材料, 其中苦草株高为 20 cm, 穗花狐尾藻、黑藻、金鱼藻株高为 25 cm, 小茨藻株高为 10~20 cm, 种植前将植物清洗干净并称鲜重。

收稿日期: 2017-12-14

基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFC0504904)。

作者简介: 高奇英, 1989 年生, 女, 工程师, 主要从事水污染治理研究。E-mail: 1050540264@qq.com

## 1.2 实验设计

试验于2017年8月23日至9月7日在室内开展,采用加厚型白水箱作为种植装置,植物采用植生袋种植,为排除基质的干扰,试验基质采用洗净的沙子。综合考虑黑臭水体一般治理措施的处理出水、消除黑臭、截污不彻底和雨天面源污染的情况,将氨氮浓度设为0、4、8、12、16 mg/L 共计5个梯度,其中0 mg/L 的为空白对照组,其余为氨氮处理组,每个氨氮浓度梯度种植苦草(K<sub>0</sub>、K<sub>4</sub>、K<sub>8</sub>、K<sub>12</sub>、K<sub>16</sub>)、穗花狐尾藻(S<sub>0</sub>、S<sub>4</sub>、S<sub>8</sub>、S<sub>12</sub>、S<sub>16</sub>)、黑藻(H<sub>0</sub>、H<sub>4</sub>、H<sub>8</sub>、H<sub>12</sub>、H<sub>16</sub>)和小茨藻(C<sub>0</sub>、C<sub>4</sub>、C<sub>8</sub>、C<sub>12</sub>、C<sub>16</sub>)各20株,金鱼藻(J<sub>0</sub>、J<sub>4</sub>、J<sub>8</sub>、J<sub>12</sub>、J<sub>16</sub>)15株。水箱中水深维持在35 cm,每天补充投加损耗的氨氮量,使水中氨氮浓度维持在各自相应的浓度。

实验时长设置为15 d,在实验过程中记录植物的生长情况,实验结束后称植物鲜重;在第7天和第14天采摘植物健康叶片或顶端新叶,每个处理选取3份叶片,检测叶绿素、丙二醛(MDA)和可溶性蛋白等指标。

## 1.3 测定方法

水中氨氮含量的测定采用纳氏试剂法(国家环境保护总局,2002)。将每组实验植物洗净后迅速用滤纸擦干测量鲜重;叶绿素含量的测定采用酒精提取法(李志丹,2011);可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝法(蒋立科和罗曼,2007);丙二醛含量的测定采用硫代巴比妥酸法(Heath & Packer,1968)。

## 1.4 数据分析

本次实验结果采用SAS软件进行方差统计分析( $n=3$ )和多重比较(Duncan法),不同小写字母代表不同氨氮浓度 $P<0.05$ 水平上的显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物存活情况与生物量

表1和图1反映了不同氨氮浓度下各种沉水植物的存活情况以及生物量的变化情况。“实验中取样”是指在第7天和第14天为检测植物生理指标而采摘的叶片;生物量减少比例=(实验开始前的生物量-实验中的生物量-实验结束后的生物量)/实验开始前的生物量 $\times 100\%$ 。

实验结束时,苦草在氨氮浓度为0~16 mg/L下均能存活,但氨氮处理组的生物量减少比例随着氨氮浓度的升高而增加,K<sub>0</sub>、K<sub>4</sub>、K<sub>8</sub>、K<sub>12</sub>和K<sub>16</sub>组的生物量减少比例分别为15.92%、34.93%、65.64%、67.13%和72.64%,说明从氨氮浓度为4 mg/L起,

苦草生物量的增加开始受到抑制,且氨氮浓度越高、抑制作用越明显。实验观察发现,苦草所有植株均长出新根新叶,说明其根系较叶片更具耐受性,在受胁迫的情况下仍能存活。

实验结束时,氨氮处理组的穗花狐尾藻、黑藻和小茨藻生物量减少比例显著高于空白组,且随着氨氮浓度的升高而增加,说明在氨氮持续存在的条件下,穗花狐尾藻、黑藻和小茨藻生物量的增加均受到抑制,且氨氮浓度越高、受到抑制越明显。在4 mg/L氨氮中,穗花狐尾藻、黑藻和小茨藻均在第15天时死亡,表明在氨氮浓度 $\geq 4$  mg/L的条件下,穗花狐尾藻、黑藻和小茨藻对氨氮均不具有耐受性。

实验结束时,J<sub>8</sub>、J<sub>12</sub>和J<sub>16</sub>组的生物量减少比例均显著高于J<sub>4</sub>,且随着氨氮浓度的升高而增加,J<sub>4</sub>、J<sub>8</sub>、J<sub>12</sub>和J<sub>16</sub>组的生物量减少比例分别为15.20%、82.64%、89.97%和90.99%,说明在8~16 mg/L氨氮持续存在的条件下,金鱼藻生物量的增加受到明显抑制,且氨氮浓度越高、抑制作用越显著。氨氮浓度8 mg/L时,金鱼藻在第14天死亡,表明在氨氮浓度 $\geq 8$  mg/L下,金鱼藻对氨氮不具有耐受性。

表1 沉水植物存活情况

Tab.1 Survival time of the five submerged vegetation species at different ammonia nitrogen concentrations

沉水植物	不同氨氮浓度下沉水植物存活时间/d				
	0 mg/L	4 mg/L	8 mg/L	12 mg/L	16 mg/L
苦草	>15	>15	>15	>15	>15
穗花狐尾藻	>15	15	12	12	12
黑藻	>15	15	12	14	12
金鱼藻	>15	>15	14	12	14
小茨藻	>15	15	8	8	8

### 2.2 沉水植物的生理指标变化

不同浓度氨氮对5种沉水植物叶绿素、MDA和可溶性蛋白含量的影响见图2。

2.2.1 苦草 K<sub>4</sub>、K<sub>8</sub>、K<sub>12</sub>和K<sub>16</sub>中的叶绿素含量与K<sub>0</sub>的比值在第14天比在第7天分别减少44%、57%、16%和39%,MDA含量在第14天分别显著降低为第7天的35%、7%、65%和41%,而可溶性蛋白含量与K<sub>0</sub>的比值在第14天比第7天分别减少62%、24%、29%和49%;说明在氨氮的持续胁迫下,苦草中叶绿素生成和可溶性蛋白合成受到的抑制作用在逐步加大,但MDA的生成量并未增加。

2.2.2 穗花狐尾藻 在第7天时,S<sub>4</sub>、S<sub>8</sub>、S<sub>12</sub>和S<sub>16</sub>中叶绿素含量分别显著减少为S<sub>0</sub>的84%、70%、66%和62%;MDA含量则分别显著降低为S<sub>0</sub>的64%、56%、78%和68%;而可溶性蛋白含量与S<sub>0</sub>

没有明显差异;说明在氨氮胁迫下穗花狐尾藻中的叶绿素生成受到显著抑制,但 MDA 含量在正常生长的范围内,可溶性蛋白的合成也未受明显影响。在第 14 天时, $S_4$  中叶绿素含量和可溶性蛋白含量

与第 7 天的未有显著差异,而 MDA 含量则显著增加为第 7 天的 207%,说明在氨氮持续胁迫下,叶绿素生成、可溶性蛋白合成受到的抑制作用并未加大,却促使 MDA 大量生成。

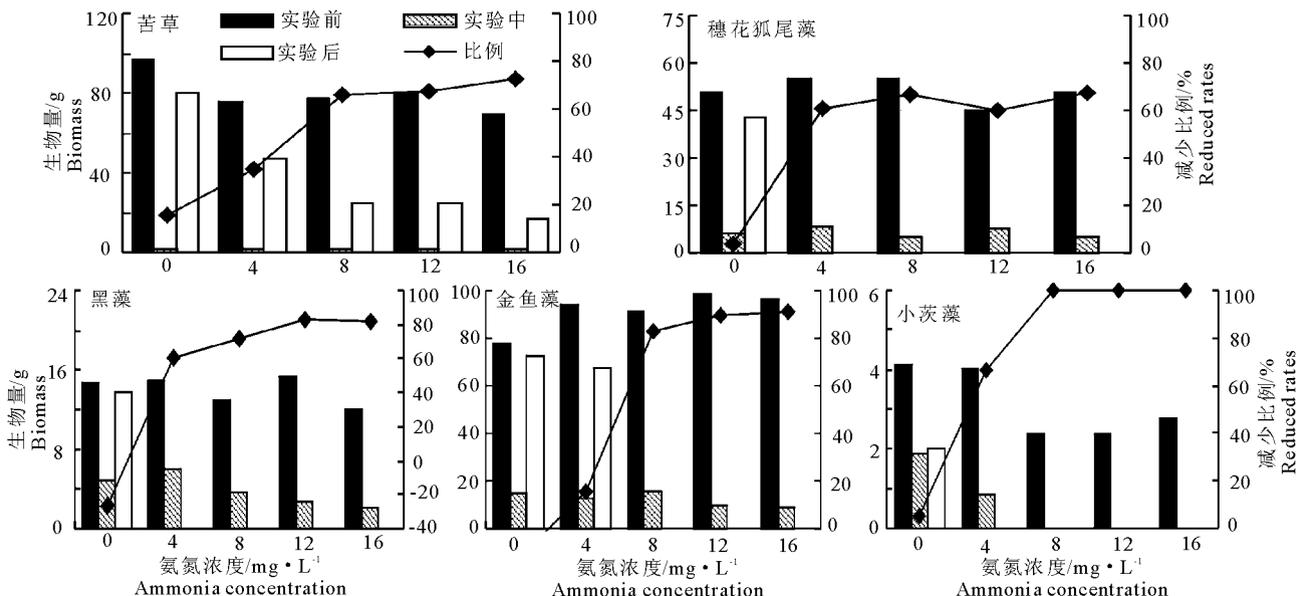


图 1 沉水植物生物量变化

Fig.1 Biomass changes of the five submerged vegetation species for each treatment

2.2.3 黑藻 在第 7 天时, $H_4$ 、 $H_8$ 、 $H_{12}$  和  $H_{16}$  叶绿素含量显著减少为  $H_0$  的 65%、50%、70% 和 67%, MDA 含量显著增加为  $H_0$  的 115%、214%、235% 和 188%,可溶性蛋白含量也显著上升为  $H_0$  的 192%、201%、230% 和 145%;说明氨氮的存在抑制了叶绿素生成,且促使 MDA 生成和蛋白合成。在第 14 天时, $H_4$  中叶绿素含量、MDA 含量、可溶性蛋白含量与第 7 天均有显著差异,分别为第 7 天的 90%、178%、75%,在氨氮持续胁迫下,黑藻叶片中叶绿素的生成作用和蛋白的合成作用在逐渐减弱,且促使 MDA 生成量增加。

2.2.4 金鱼藻 在第 7 天时, $J_4$ 、 $J_8$ 、 $J_{12}$  和  $J_{16}$  中金鱼藻的叶绿素含量、MDA 含量与  $J_0$  均无显著差异,而可溶性蛋白含量分别增加为  $J_0$  的 113%、149%、327% 和 226%,说明氨氮未明显抑制叶绿素生成和促使 MDA 产生,但促进了蛋白的合成。在第 14 天时, $J_4$  的叶绿素含量、可溶性蛋白含量与第 7 天均未有明显差异,而 MDA 含量则显著减少为第 7 天的 80%,说明随着氨氮胁迫持续到第 14 天时, $J_4$  中叶绿素生成和蛋白合成并未受到明显影响,MDA 的产生量也维持在正常范围内。

2.2.5 小茨藻 在第 7 天时, $C_4$  中叶绿素含量、MDA 含量与  $C_0$  均有显著差异,分别是  $C_0$  的 76%、

41%,而可溶性蛋白含量与  $C_0$  未有明显差异,说明在氨氮浓度为 4 mg/L 时,小茨藻叶片内叶绿素生成受到抑制,但 MDA 含量维持在正常生长范围内,且可溶性蛋白合成未受到明显影响。

### 3 讨论

#### 3.1 氨氮对植物生理指标的影响

氨氮是黑臭水体中水质超标的主要物质之一(汪建华,2017)。虽然氨氮可以作为营养物质被沉水植物利用,但高浓度的氨氮会抑制植物的生长,甚至产生毒害作用(陈书秦,2016)。当植物受到氨氮胁迫时,植物体内会产生活性氧自由基,并打破其动态平衡机制,导致活性氧自由基累积(Wang et al, 2008)。活性氧自由基累积到一定浓度后,会破坏体内叶绿素,同时会引起植物体内酶促抗氧化系统和非酶促抗氧化系统启动抗氧化机制,清除体内的活性氧自由基,使植物能够在一定程度上忍耐、减缓或抵抗逆境胁迫(Mishra et al, 2006;高镜清,2010)。当抗氧化机制不能将活性氧自由基的产生和清除维持在平衡状态时,过量的活性氧会导致膜脂过氧化,而 MDA 是植物在逆境条件下发生膜脂氧化的产物之一(Gulati & Van Donk, 2002;陈开宁,2006),所以 MDA 的含量可表示植物膜脂过氧化程度和植

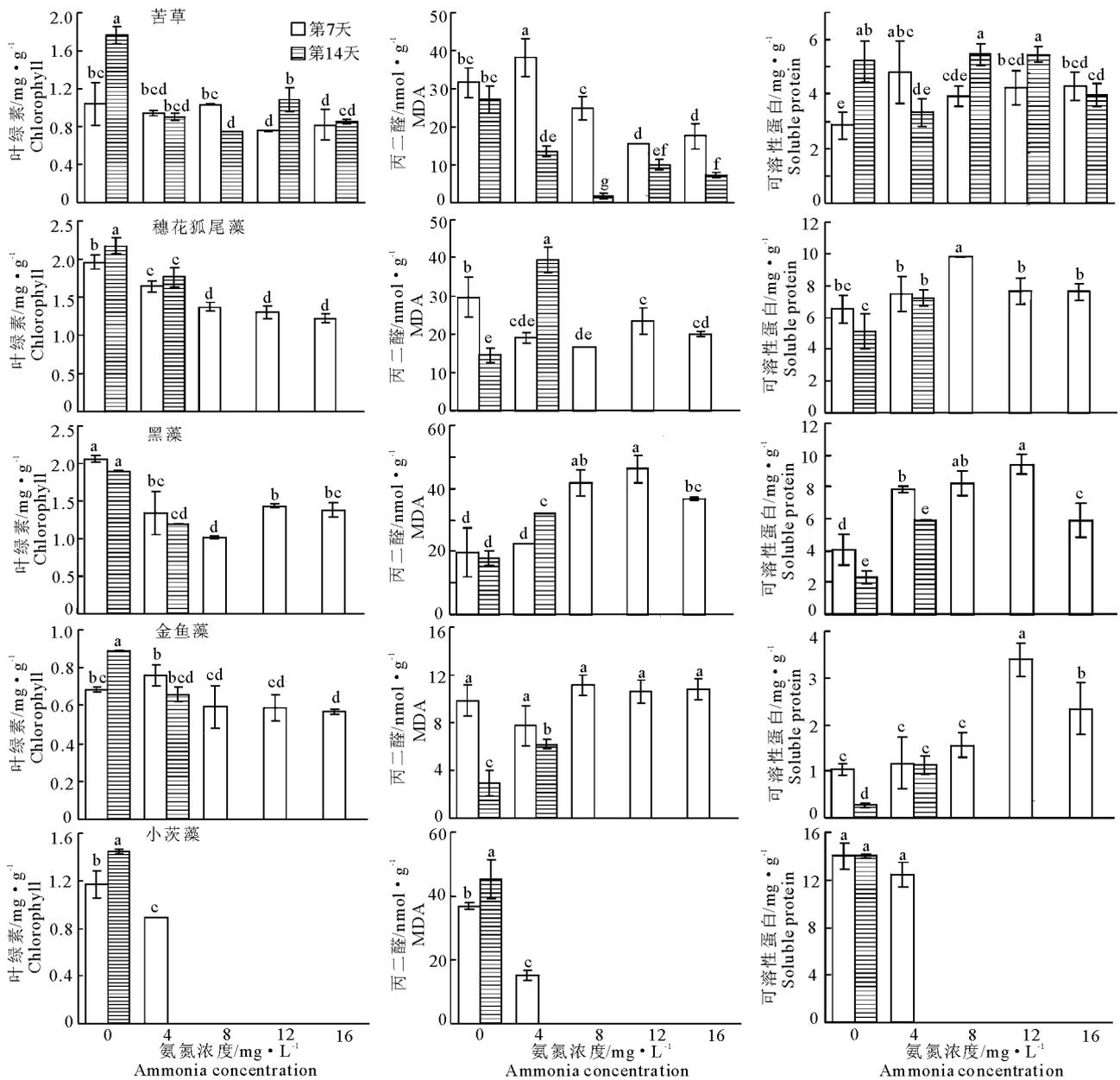


图2 不同浓度氨氮对5种沉水植物叶绿素、MDA和可溶性蛋白含量的影响

Fig.2 Effect of ammonia nitrogen concentrations on chlorophyll, MDA and soluble protein contents of the five submerged vegetation species

物对逆境条件耐受的强弱(王爱国,1986;高镜清,2010)。可溶性蛋白是植物总代谢水平的体现,植物在逆境条件下正常蛋白的合成往往受到抑制,但同时会诱导一些新的蛋白产生或使原有蛋白量明显增加(阳燕娟,2011),可溶性蛋白的含量是两者共同作用的结果。

### 3.2 不同浓度氨氮对5种沉水植物生长的影响

本次实验中,氨氮对5种沉水植物的叶绿素、MDA和可溶性蛋白含量的影响各不相同。在氨氮持续胁迫15d中, $K_4$ 、 $K_8$ 、 $K_{12}$ 、 $K_{16}$ 和 $H_4$ 中叶绿素生成受到的抑制作用在逐渐增强, $S_1$ 的叶绿素生成

作用虽受到抑制,但在第7天后并未继续加大,而 $J_4$ 的叶绿素生成始终未受到明显影响,说明在氨氮持续胁迫下只有 $J_4$ 的叶绿素合成未受到影响,其余沉水植物的叶绿素则均受到氨氮的破坏。第14天时, $K_4$ 、 $K_8$ 、 $K_{12}$ 、 $K_{16}$ 和 $J_4$ 的MDA含量均显著少于第7天,而 $S_1$ 和 $H_4$ 的MDA含量则显著高于第7天,说明 $K_4$ 、 $K_8$ 、 $K_{12}$ 、 $K_{16}$ 和 $J_4$ 的活性氧自由基的代谢始终保持在平衡状态,能够抵抗氨氮的胁迫,而 $S_1$ 和 $H_4$ 的活性氧自由基代谢逐渐失去平衡并导致严重的膜脂过氧化,使植株遭到不可逆转的毒害。 $K_4$ 、 $K_8$ 、 $K_{12}$ 、 $K_{16}$ 和 $H_4$ 的可溶性蛋白合成受到的抑制作

用在逐渐增强,说明其原有蛋白合成受到的抑制程度大于新蛋白的产生程度,代谢受到干扰。 $S_4$  和  $J_4$  的可溶性蛋白含量则始终未有明显变化。以上表明  $K_4$ 、 $K_8$ 、 $K_{12}$ 、 $K_{16}$  的生长虽受到氨氮抑制但并未造成不可逆伤害,对氨氮具有耐受性。 $S_4$  和  $H_4$  的生长则遭到氨氮的不可逆毒害,对氨氮不具耐受性。 $J_4$  的生长则不受氨氮的影响。

实验过程中,不同浓度氨氮下 5 种沉水植物的存活情况也不相同。在氨氮浓度为 4 mg/L 下,苦草和金鱼藻均能存活,而穗花狐尾藻、黑藻和小茨藻均在第 15 天死亡;在氨氮浓度为 8~16 mg/L 时,苦草能存活,而穗花狐尾藻、黑藻和金鱼藻均在第 12~14 天死亡,小茨藻则在第 8 天死亡。有研究表明,在 0~80 mg/L 氨氮浓度下,苦草都能正常生长(李雪梅,2013);本研究苦草能持续生长的氨氮阈值在其范围内。金鱼藻在氨氮浓度 $\leq 4$  mg/L 下能正常生长,与 Ni 等(2004)的研究结果比较一致。穗花狐尾藻、黑藻和小茨藻在氨氮浓度 $\geq 4$  mg/L 下则无法持续生长,与其他学者的研究结果一致(颜昌宙,2007;金相灿,2008;王爱丽,2015)。

#### 参考文献

陈开宁,陈小峰,陈伟民,等,2006. 不同基质对四种沉水植物生长的影响[J]. 应用生态学报, 17(8):1511-1516.

陈书秦,孙慧群,储昭升,2016. 氨胁迫下沉水植物抗氧化酶系统研究进展[J]. 环境科学与技术,39(11):42-46.

高镜清,黄五星,黄宇,等,2010. 铵态氮胁迫下金鱼藻的过氧化损伤和抗氧化能力[J]. 武汉大学学报(理学版),56(5):590-596.

国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局,2002. 城镇污水处理厂污染物排放标准(GB 18918-2002)[S]. 北京:中国环境出版社.

国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局,2002. 地表水环境质量标准(GB 3838-2002)[S]. 北京:中国环境出版社.

国家环境保护总局,2002. 水和废水监测分析方法(第 4 版)[M]. 北京:中国环境科学出版社.

国务院,2015. 水污染防治行动计划(国发[2015]17 号)[Z].

蒋立科,罗曼,2007. 生物化学实验设计与实践[M]. 北京:高等教育出版社:246-247.

金相灿,郭俊秀,许秋瑾,等,2008. 不同质量浓度氨氮对轮叶黑藻和穗花狐尾藻抗氧化酶系统的影响[J]. 生态环境,17(1):1-5.

李雪梅,马长乐,张绍龙,等,2013. 苦草对水体铵氮的净

化效果[J]. 贵州农业科学,41(5):155-157.

李志丹,韩瑞宏,廖桂兰,等,2011. 植物叶片中叶绿素提取方法的比较研究[J]. 广东第二师范学院学报,31(3):80-83.

蒲琴,李林骏,魏玉君,等,2016. 黑臭水体污染现状及治理的方法[A]. 北京:2016 全国水环境污染控制与生态修复技术高级研讨会论文集[C].

侍宇,2017. 城市黑臭河道整治技术方案[J]. 市政工程,(4):51-52.

汪建华,2017. 城市黑臭河道氮转化途径分型表征及微生物作用机理研究[D]. 上海:华东师范大学.

王爱国,1986. 丙二醛作为脂质过氧化指标的探讨[J]. 植物学生理学通讯,28(3):84-90.

王爱丽,孙旭,陈乾坤,等,2015. 污水处理厂尾水中氨氮对穗花狐尾藻生长的影响[J]. 生态学杂志,34(5):1367-1372.

王少林,2017. 城市黑臭水体整治中控源截污改善措施的思考[J]. 净水技术,36(11):1-6.

颜昌宙,曾阿妍,金相灿,等,2007. 不同浓度氨氮对轮叶黑藻的生理影响[J]. 生态学报,27(3):1050-1055.

阳燕娟,郭世荣,李晶,等,2011. 嫁接对盐胁迫下西瓜幼苗生长和可溶性蛋白表达的影响[J]. 南京农业大学学报,34(2):54-60.

住房和城乡建设部,2015. 城市黑臭水体整治工作指南[Z].

Farnsworth-Lee, Baker L A, 2000. Conceptual model of aquatic plant decay and ammonia toxicity for shallow lakes[J]. J Environ Eng, 126:199-207.

Gulati S D, Van Donk E, 2002. Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: state of the art review[J]. Hydrobiologia, 478:73-106.

Heath R L, Packer L, 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts I: Kinetic and stoichiometry of fatty acid peroxidation[J]. Arch Biochem Biophys, 125:189-198.

Mishra S, Srivastava S, Tripathi R D, et al, 2006. Leas detoxification by coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) involves induction of phytochelations and antioxidant system in response to its accumulation [J]. Chemosphere, 65:1027-1039.

Ni L Y, 2004. Responses of antioxidases of *Ceratophyllum demersum* to the increase of inorganic nitrogen in water column[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 28(3):299-303.

Wang C, Zhang S H, Wang P F, et al, 2008. Metabolic adaptations to ammonia-induced oxidative stress in leaves of the submerged macrophyte *Vallisneria spiralis* (Lour.) Hara[J]. Aquatic Toxicology, 87:88-98.

## Effect of Ammonia Nitrogen Concentration on the Growth of Five Submerged Vegetation Species

GAO Qi-ying, ZHU Wen-jun, LIU Xiao-bo, LAN Yu-qian, MO Jun-ning, SHEN Wen-gang

(Shenzhen Tech and Eco-Environmental Co. Ltd., Shenzhen 518040, P.R.China)

**Abstract:** Aquatic plants play an important role in maintaining the health of aquatic ecosystems and submerged plants are the most sensitive to environment stress. Investigation of submerged vegetation tolerance to ammonia nitrogen ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) is necessary for selecting plants to treat water bodies with black, odoriferous sediments. This study explored the morphological and physiological changes of five common submerged plants (*Vallisneria natans*, *Myriophyllum spicatum*, *Hydrilla verticillata*, *Ceratophyllum demersum* and *Najas minor*) under different concentrations of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and selection of the pioneer species most appropriate for restoring black, odoriferous water bodies based on tolerance to ammonia. A control (no added ammonia) and four  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  treatments (4, 8, 12 and 16 mg/L) were set. The experiment lasted 15 days (August 23 to September 7, 2017) with 20 plants in each trial, except for *Ceratophyllum demersum* trials in which 15 plants were used. Plant growth was recorded during the experiment and the wet weight of each plant was measured before and after the trials. On day 7 and 14, the chlorophyll, soluble protein and MDA contents of leaves were determined in triplicate for each species. The chlorophyll, soluble protein and MDA contents of *Vallisneria natans* decreased at all treatment levels. From day 7 to day 14, at the four  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentrations (4, 8, 12 and 16 mg/L), the respective decreases in leaf content were as follows: chlorophyll (44%, 57%, 16% and 39%); insoluble protein (62%, 24%, 29% and 49%); and MDA (35%, 7%, 65% and 41%). These values indicate that the *Vallisneria natans* plants were not irreversibly injured. At 4 mg/L  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , all the *Najas minor* plants died and the MDA content of *Myriophyllum spicatum* and *Hydrilla verticillata* increased significantly (207% and 178%) from day 7 to day 14. Also at 4 mg/L  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , the MDA content of *Ceratophyllum demersum* decreased by 20%, with no evident changes in chlorophyll and soluble protein. In the 8 – 16 mg/L  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  treatments, plants of all species died, except for *Vallisneria natans*. In summary, *Ceratophyllum demersum* survived at 4 mg/L  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and *Vallisneria natans* survived at all treatment levels. Thus, *Vallisneria natans* is recommended as the pioneer submerged aquatic vegetation species for restoration of aquatic ecosystems suffering from black, odorous sediment.

**Key words:** submerged vegetation; ammonia nitrogen; growth; physiological indices