

几种收割策略下轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)的生长恢复研究

左进城^{1,2}, 梁 威¹, 徐 栋¹, 贺 锋¹, 周巧红¹, 吴振斌^{1*}

(1.中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072; 2.鲁东大学生命科学学院, 山东 烟台 264025)

摘 要:2005年5月中旬至10月下旬,在水深为24 cm的桶中,以水面下6、12、18 cm等3个收割强度对轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)分别进行了连续4次收割实验,研究收割强度、收割频次对其生长恢复的影响。结果表明,温度相近时,收割强度较高或收割频数增加将延长轮叶黑藻的恢复时间。以18 cm强度收割第2次、第3次后,轮叶黑藻需近2个月的时间恢复;以12 cm强度第3次收割后,需43 d恢复;其余各次收割后,轮叶黑藻均在1个月内恢复。8月下旬,以18 cm强度收割第3次后,普通枝条及匍匐枝的数目与总长明显减少,从而抑制了轮叶黑藻以匍匐枝和冬芽进行无性繁殖。其他各次收割均处于轮叶黑藻旺盛生长的季节,收割后,普通枝条和匍匐枝的数目和总长明显增加,将不会抑制植物的无性繁殖。各次收割后至少75%的新生枝条从基部萌生,这些枝条成为生长最为旺盛的部分。在各处理组中,轮叶黑藻干重的相对增长率随收割次数的增加呈现较明显的下降趋势,而根冠比随着收割次数的增多而增大。

关键词:富营养化;收割策略;轮叶黑藻;生长恢复

中图分类号:X173 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)07-1391-07

The Vegetative Recovery of *Hydrilla verticillata* Under Several Harvesting Strategies

ZUO Jin-cheng^{1,2}, LIANG Wei¹, XU Dong¹, HE Feng¹, ZHOU Qiao-hong¹, WU Zhen-bin^{1*}

(1.State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, CAS, Wuhan 430072, China; 2.College of Life Sciences, Ludong University, Yantai 264025, China)

Abstract: The effects of cutting intensity and frequency on the vegetative recovery of *Hydrilla verticillata*, grown in buckets with a water depth of 24 cm, were investigated in a series of 4 consecutive experiments with different cutting intensities at 6 cm, 12 cm and 18 cm from the apex of the plants, respectively through mid-May to late October, 2005. The results showed that both high cutting intensity and high cutting frequency prolonged the time of vegetative recovery of *H. verticillata* when the temperature variation was negligible. A period of 2 months was needed for the recovery of plants being cut off at 18 cm from the apex after the second and the third cut-offs, and 43 days for plants cut at 12 cm from the apex after the third cut-off, and less than a month for the rest cut-offs. In late August, the number and length of both the normal shoots and the stolons declined significantly after the third cut-off at 18 cm from the apex of the plants, so the asexual propagation in the form of stolons or winter buds would be inhibited. All the other cutting time were within the booming season for *H. verticillata*, the number and the total length of normal shoots and stolons increased significantly after each cut-off, therefore the asexual propagation would not be inhibited. More than 75% of the new shoots were generated from the basal part of the plants after every cut-off, and those shoots constituted the fastest growing parts of the plants. Along with the increase in the times of cut-offs in all experimental groups, the relative increase rate of dry weight in *H. verticillata* declined significantly, but the root-shoot ratio increased.

Keywords: eutrophication; harvesting strategies; *Hydrilla verticillata*; vegetative recovery

收稿日期:2010-12-02

基金项目:国家“十一五”水专项(2009ZX07106-003, 2008ZX07316-004);国家自然科学基金(50808172);中国科学院天津专项(TJZX2-YW-07);鲁东大学校基金(LY20073301)

作者简介:左进城,男,山东沂源人,博士,主要从事水生植物的生态恢复工作。E-mail:zuo2008@hotmail.com

* 通讯作者:吴振斌 E-mail:wuzb@ihb.ac.cn

富营养化已成为我国湖泊的最主要问题之一^[1-2]。沉水植物是湖泊生态系统的重要组成部分^[3-4],恢复沉水植物是富营养化湖泊生态修复的主要措施之一^[1,4-7]。近年来在太湖、滇池等富营养化湖泊的治理中开展了大量的相关研究^[8-10]。

沉水植物恢复过程中,合理收割是必不可少的环节。首先,沉水植物全磷含量占其干重的0.3%左右,全氮含量占2%左右^[4],收割沉水植物可转移出大量的氮磷等营养盐及其吸收的其他污染物^[9]。其次,沉水植物的残体可能导致湖泊沼泽化加剧,而且分解后常常导致水体的二次污染,但合理的收割能减轻或避免这些不良后果^[4,11-12]。此外,收割出来的沉水植物可以作为资源利用,如生产沼气、有机肥料或饲料等,增加当地的经济效益^[4,13]。

美国、英国等国在收割沉水植物方面的研究和实践主要是面向控制沉水植物过量生长的^[5],而国内的相关研究较少。处于恢复初级阶段的沉水植物群落对外界干扰很敏感,过于粗放的收割可能会导致沉水植物恢复工作的失败。因此,研究收割对沉水植物生长的影响是很有必要的。

轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)常用于沉水植物的恢复工作,目前的研究主要集中于生长特性、净化能力、抵抗胁迫等方面^[14-15],但在收割方面的报道较少。本文研究了3种强度连续收割后轮叶黑藻的生长与恢复状况,为沉水植物的恢复工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

植物材料为轮叶黑藻的顶枝,长13~14 cm,生长良好,无明显分枝或萌芽。实验用基质为富营养化湖泊的底泥,总磷、总氮与总有机碳(Mean $\pm$ S.D.)分别为(0.756 $\pm$ 0.081)mg $\cdot$ g⁻¹DW(干重)、(3.678 $\pm$ 0.329)mg $\cdot$ g⁻¹DW和(9.55 $\pm$ 0.96)mg $\cdot$ g⁻¹DW。实验用水为富营养化湖水,平均五日生化需氧量、总氮、氨氮与总磷分别为(12.03 $\pm$ 2.07)、(2.44 $\pm$ 0.42)、(0.90 $\pm$ 0.14)mg $\cdot$ L⁻¹和(0.22 $\pm$ 0.05)mg $\cdot$ L⁻¹。

1.2 实验设计

实验在室外遮雨棚下进行。在容积10 L、深26 cm的塑料桶底铺2 cm厚的底泥,缓慢注满湖水。水澄清后将枝条均匀插入泥中,每桶6条。收割强度设水面下6、12 cm和18 cm 3个梯度(即留茬高度分别为18、12 cm和6 cm),分别作为低强度、中等强度和高强度处理。每个收割强度设置9个桶,另外设3

个桶作为对照组。待桶内过半数的植物长到水面后,完全收割(第1次收割)对照组内的植物,同时依各强度收割(第1次收割)其余桶内植物。等某收割强度下的植物过半数生长到水面后(此时视为已恢复,下同),完全收割其中的3桶(第2次收割),其余的植物仍按此强度收割(第2次收割)。之后,再继续培养,依次进行第3次收割、第4次收割。每个收割强度与收割次数的组合设3个重复。每7 d以新鲜的湖水更换半桶水,随时清除桶内着生的丝状藻类与螺类。

1.3 数据计算与处理

计算各次收割后植物的恢复时间;统计各次完全收割时每株植物的枝条总数、新生枝条的着生位置,测量各枝条长度;测量根的干重、切割部位以上的干重及根与切割部位间的干重,计算出根冠比、干重的相对增长率(RGR)等。这样,第1次完全收割时植物的生长指标作为对照组的数据,其余各次完全收割时的生长指标分别反映出该收割强度下前一次收割之后的植物恢复状况。

干重的相对增长率由下式计算得出^[16]:

$$RGR(\% \cdot d^{-1}) = 100 \times (\ln D_t - \ln D_0) / t$$

其中: t 表示实验时间; D_t 表示某次完全收割时植物的总干重; D_0 表示前1次收割后余下的植物体干重。 D_0 以前1次完全收割时植物切割部位以下的干重估计而得出。

实验数据通过SPSS 13.0 for Windows进行ANOVA统计分析。

2 结果与分析

轮叶黑藻的收割实验从2005年5月10日开始至10月19日结束,持续5个多月。

2.1 收割后的恢复时间

由表1看出,收割6 cm组中第1次、第2次、第3次收割后的平均温度依次升高,而恢复时间依次延长;收割12 cm组中也表现出相同的规律;收割18 cm组中第2次收割后的平均温度高于第1次收割后的,而恢复时间多用36 d。在各收割强度组中,第1次收割后的平均温度近似,而收割强度高的植物恢复时间较长;第2次收割后也是如此;第3次收割后,收割12 cm组的平均温度高于收割6 cm组的,但恢复时间延长了16 d。这表明在生长季节近似,温度相差不大的情况下,收割强度或收割频数增大时,轮叶黑藻的恢复时间会加长。

表 1 各次收割后轮叶黑藻的恢复时间

Table 1 Recovery time after each cut treatment for *H. verticillata*

收割强度/cm Cutting intensities	收割频次 Cutting frequencies	收割日期 Cutting date	到下一次收割前的恢复时间/d Recovery time	平均温度/℃ Average temperatures
6	1	06.01	7	30.5±2.1
	2	06.08	14	32.2±2.8
	3	06.22	27	33.8±3.3
	4	07.19	—	—
12	1	06.01	12	28.8±3.1
	2	06.13	25	31.2±2.7
	3	07.08	43	35.5±3.6
	4	08.20	—	—
18	1	06.01	21	31.4±2.6
	2	06.22	57	34.3±2.4
	3	08.20	60	25.1±5.0
	4	10.19	—	—

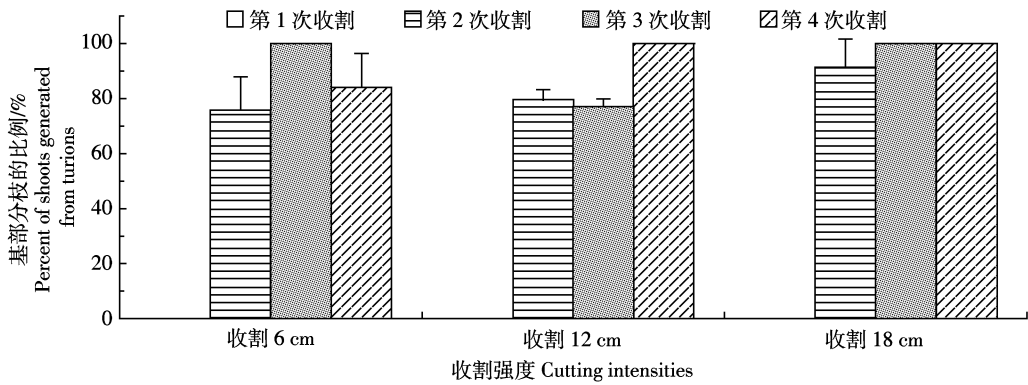


图 1 各次收割时轮叶黑藻基部分枝数的比例

Figure 1 Percentages of shoots newly generated from turions after cut for *H. verticillata*

2.2 枝条的生长

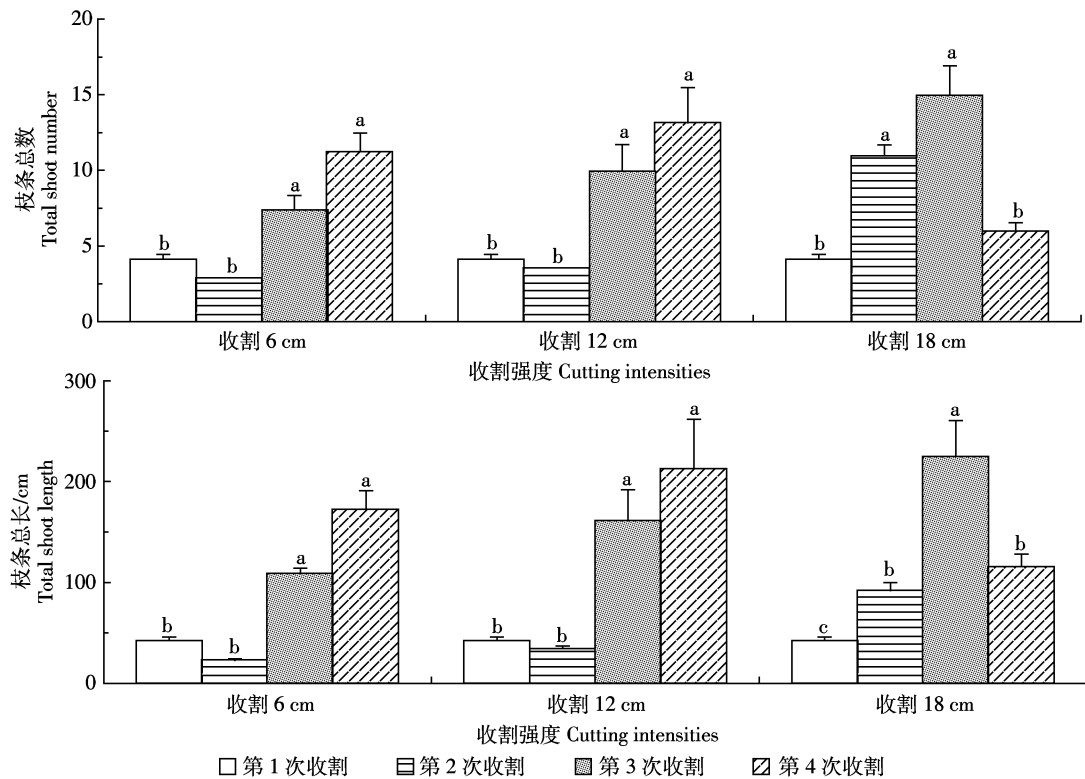
图 1 表明,第 1 次收割时,轮叶黑藻的基部没有萌生枝条,在其余各处理中,从基部萌生的枝条占枝条总数的 75%以上,而且很多植株的新生枝条全部从基部萌生。收割后只有少数新枝从残枝上萌发,但生长不旺盛,而且残枝后来逐渐变黄、死亡,这表明收割后从基部萌生的枝条成为了生长最旺盛的部位。因此,在实践中收割可以有效减缓轮叶黑藻生物量过度集中于水体上层的趋势。

图 2 表明:收割 6 cm 组中,第 3 次收割时与第 4 次收割时的枝条总数与枝条总长分别显著地大于第 1 次与第 2 次($P<0.05$);收割 12 cm 组中的植物也表现出相似的规律;收割 18 cm 组中,第 2 次收割时与第 3 次收割时枝条总数均显著地多于第 1 次和第 4 次的($P<0.05$),第 3 次收割时的枝条总长显著地大于其余各次的($P<0.05$),第 2 次和第 3 次收割时的枝条

总长均显著地大于第 1 次的($P<0.05$)。

轮叶黑藻在生长过程中可产生匍匐枝以加速其扩展速度。图 3 表明,收割 6 cm 组中与收割 12 cm 组中,前两次收割时没有匍匐枝产生,第 4 次收割时的匍匐枝的枝条总长与枝条总数均显著地高于第 3 次($P<0.05$)。收割 18 cm 组中,第 2 次收割时产生匍匐枝,第 3 次收割时的匍匐枝的枝条总数与枝条总长均显著地高于第 2 次($P<0.05$),而第 4 次收割时匍匐枝的枝条总数与枝条总长均显著地低于第 3 次和第 2 次($P<0.05$)。由图 2 与图 3 对比可看出,匍匐枝产生的枝条在数量与长度方面都已成为地面生物量的主要组成部分了。

收割 6 cm 和 8 cm 组的各次收割、收割 18 cm 组的前 3 次收割处于轮叶黑藻生长旺盛的季节(6、7 月和 8 月),水温较高且变化不大;而收割 18 cm 组中,第 3 次和第 4 次收割之间主要处于 9—10 月,平均水



图中不同小写字母表示不同处理差异显著($P < 0.05$)。下同。

图 2 各次收割时轮叶黑藻的枝条总数与枝条总长

Figure 2 Total shoot number and total shoot length of *H. verticillata* after cut

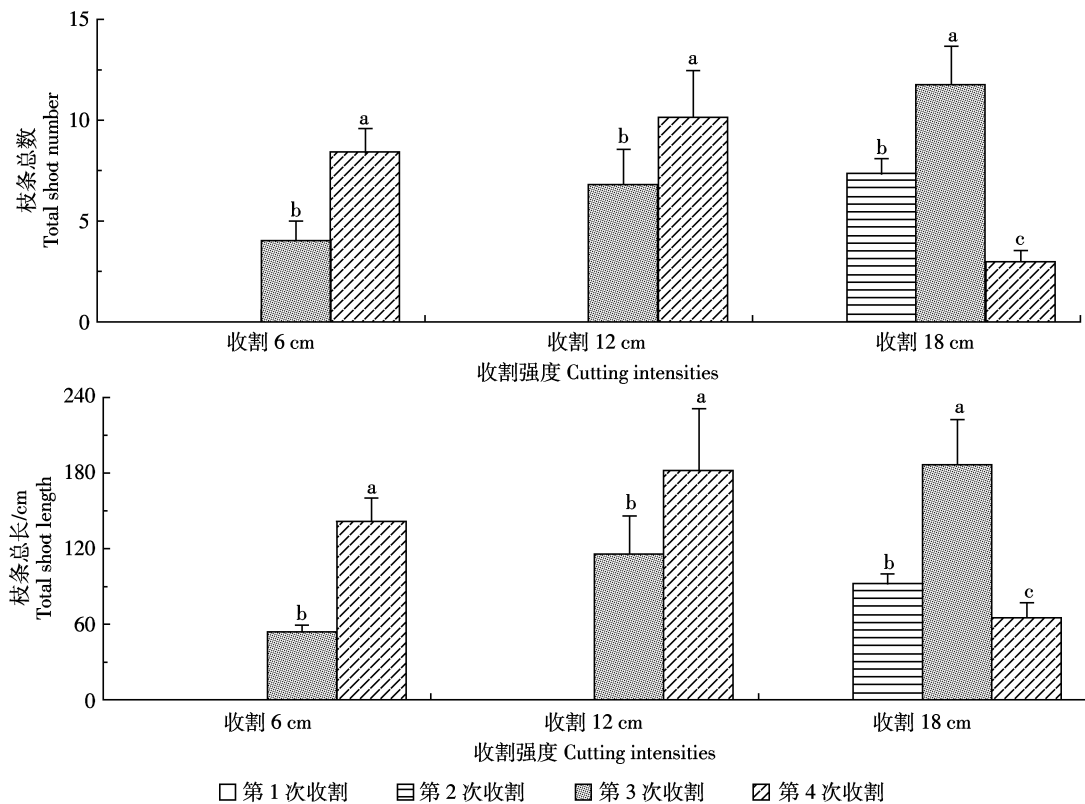


图 3 各次收割时轮叶黑藻匍匐枝的枝条总数与枝条总长

Figure 3 Total shoot number and total shoot length of stolons of *H. verticillata* after cut

温较低,轮叶黑藻生长相对缓慢(表1)。

上述分析表明,在轮叶黑藻生长旺盛的季节,中低强度收割及高强度低频次收割后,轮叶黑藻匍匐枝的产生与生长不会受到明显抑制,枝条数目和枝条总长也未受到明显抑制;而在8月下旬进行高强度高频次收割后,轮叶黑藻虽在当年仍可恢复,但其匍匐枝的产生与生长受到抑制,枝条数目和枝条总长也受到抑制。

2.3 干重的相对增长率与根冠比

图4表明,在各收割强度下,轮叶黑藻干重的相对增长率随收割次数的增加呈现较明显的下降趋势。收割6 cm组中第1次收割后与第2次收割后干重相对增长率差异不显著($P>0.05$),但第3次收割后明显下降($P<0.05$)。收割12 cm组中也呈现相同的规律。这可能是因为第2次收割后植物恢复时的分枝数与枝条总长都显著地大于第1次($P<0.05$)(图2),即植物的干重增加,抵消了恢复时间延长对干重相对增长率的影响,但第3次收割后,植物的增重未能抵消时间延长对干重相对增长率的影响。而收割18

cm组中,随着收割次数的增加,干重的相对增长率明显下降($P<0.05$),这主要是因为各次收割后,轮叶黑藻恢复时间较长(图2)。

图5表明,在各收割强度组中,轮叶黑藻的根冠比随着收割次数的增多而增大。

3 讨论

植物受损伤后的恢复情况除了与生长季节、气候、资源、自身的生长特性等因素有关外,与营养储备也密切相关^[17-18]。收割1/2或3/4(留茬1/2或1/4)的中高强度收割能明显降低冷蒿(*Artemisia frigida*)可溶性碳水化合物含量,不利于植物的生长恢复^[17];而连续收割能明显降低羊草(*Leymus chinensis*)的能量现存量,降低了羊草在群落中的优势度^[19]。本研究结果也表明,在生长季节近似、水温近似的情况下,连续收割或高强度收割会抑制轮叶黑藻的生长,延长其恢复时间。这可能与连续收割或高强度收割导致其营养储备降低有关。

低强度收割可以促进小麦(*Triticum aestivum*)、冷

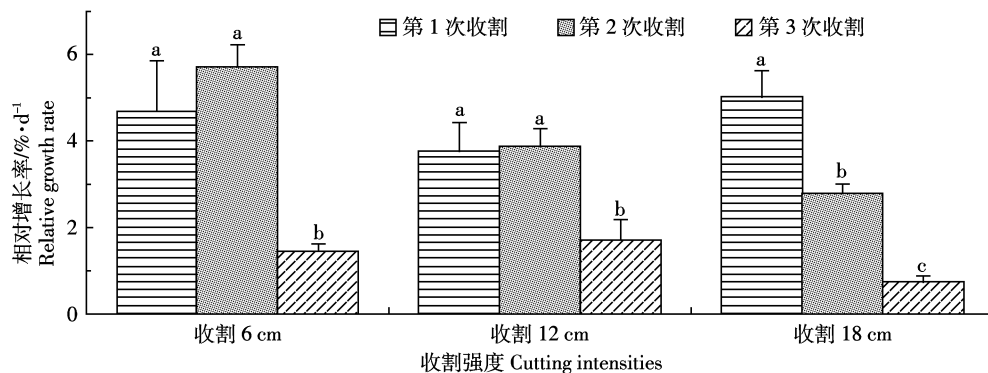


图4 各次收割后轮叶黑藻干重的相对增长率

Figure 4 RGR of dry weight for *H. verticillata* after cut

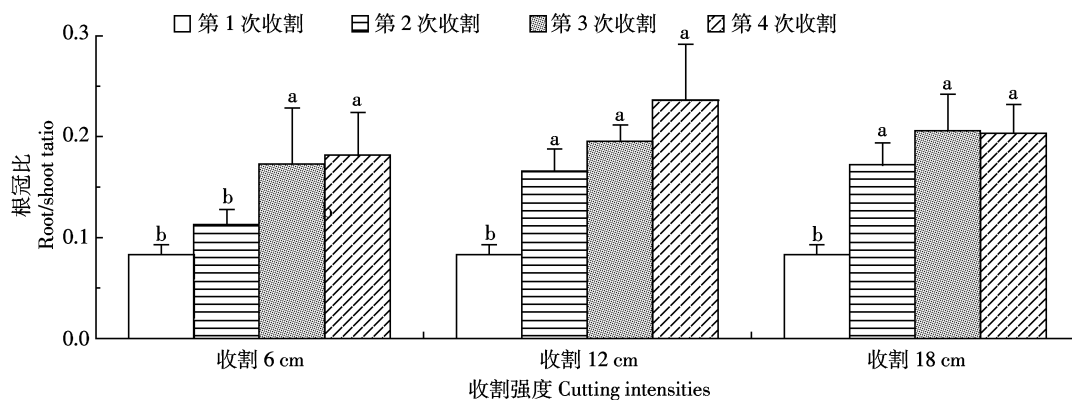


图5 各次收割时轮叶黑藻的根冠比

Figure 5 Root/shoot ratio of *H. verticillata* after cut

蒿、柱花草(*Stytosanthes guianensis*)等植物的再生生长,提高其产量^[20-22]。本研究结果与上述研究类似,在轮叶黑藻生长旺盛的季节(6—8月),以6、12 cm强度的连续收割,以及以18 cm强度的前2次收割均未明显抑制轮叶黑藻匍匐枝数目与长度的增长,也未明显抑制总枝条数目与长度的增长。无性繁殖是沉水植物的主要繁殖方式,而轮叶黑藻主要依靠产生匍匐枝和冬芽进行无性繁殖,而且冬芽的数目与枝条的数目和长度呈正相关关系。因此,在轮叶黑藻快速生长的季节,中、低强度的收割及高强度低频次的收割均不会明显抑制轮叶黑藻以冬芽或匍匐枝的方式进行无性繁殖,但在轮叶黑藻旺盛生长的季节末尾(8月下旬),高强度高频次的收割会抑制轮叶黑藻的无性繁殖。

收割后轮叶黑藻新枝主要(至少75%)从基部萌生,因此收割可以有效减轻轮叶黑藻生物量主要集中于水体表层的现象,起到更好的净化效果和景观效果。另外,收割后残茬仍留在水中,它们在新枝萌发期可能仍是光合作用的主要位点,但之后会逐渐死亡分解,因此在新枝萌发后最好能收取这部分残枝,以减轻因残枝分解而产生的二次污染。

沉水植物生长速度较快,在春季或夏季收割后,通常能在当年恢复。尚士友等在乌梁素海(草型富营养化湖泊)进行连续3 a的收割实验表明:6—10月期间,收割水面下0.7 m以内的龙须眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)后,植物仍可在当年发芽生枝,通常能在55~60 d内恢复,而且不影响第2年的生物量^[13]。本研究表明,在春末或夏季以6、12 cm和18 cm强度连续收割3次,轮叶黑藻均能在同一个生长季节恢复。但随着收割强度或收割次数的增加,其恢复时间将延长。此外,轮叶黑藻的枝条片段能在较短时间内沉降到水底,并生长成完整的植株^[23],因此实际操作中,应根据轮叶黑藻生长情况和调控目的制定合适的收割策略。当轮叶黑藻分布面积仍需增大时,应主要考虑在春末或夏季以中低强度收割,并控制收割频次;当轮叶黑藻分布面积已达到要求而且生长过于繁茂时,应加大收割强度和收割频次,而且要加强在秋季收割,并注意尽量除去收割产生的枝条片段。

4 结论

温度相近时,高强度或高频次的收割将延长轮叶黑藻的恢复时间;8月下旬,高强度高频次的收割减少了轮叶黑藻的枝条数目与枝条总长,将抑制之后的

无性繁殖;生长旺盛的季节(6—8月),低强度和低频次的收割将不会抑制植物的枝条生长和无性繁殖。而且各次收割后新生枝条大多数从基部萌生。研究结果可以为人工恢复轮叶黑藻的过程中制定适当的收割策略提供依据。

参考文献:

- [1] 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探[J]. 湖泊科学, 2002, 14(3): 193-202.
QIN Bo-qiang. Approaches to mechanisms and control of eutrophication of shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangze River[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2002, 14(3): 193-202.
- [2] 金相灿. 湖泊富营养化研究中的主要科学问题——代“湖泊富营养化研究”专栏序言[J]. 环境科学学报, 2008, 28(1): 21-23.
JIN Xiang-can. The key scientific problems in lake eutrophication studies[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(1): 21-23.
- [3] Engel S. Ecosystem responses to growth and control of submerged macrophytes: a literature review[R]. Wisconsin Department of Natural Resources, Technical Bulletin Number 170. Madison, Wisconsin: 1-20.
- [4] 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
JIN Xiang-can. Technologies of lake eutrophication control and management[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001.
- [5] Gumbrecht T. Nutrient removal processes in freshwater submersed macrophyte systems[J]. *Ecological Engineering*, 1993, 2(1): 1-30.
- [6] 吴振斌, 邱东茹, 贺 锋, 等. 沉水植物重建对富营养水体氮磷营养水平的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1351-1353.
WU Zhen-bin, QIU Dong-ru, HE Feng, et al. Effects of rehabilitation of submerged macrophytes on nutrient level of a eutrophic lake[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(8): 1351-1353.
- [7] James W F, Best E P, Barko J W. Sediment resuspension and light attenuation in Peoria Lake: Can macrophytes improve water quality in this shallow system[J]. *Hydrobiologia*, 2004, 515: 193-201.
- [8] 郭怀成, 孙延枫. 滇池水体富营养化特征分析及控制对策探讨[J]. 地理科学进展, 2002, 21(5): 500-506.
GUO Huai-cheng, SUN Yan-feng. Characteristic analysis and control strategies for the eutrophicated problem of the Lake Dianchi[J]. *Progress in Geography*, 2002, 21(5): 500-506.
- [9] 陈开宁, 包先明, 史龙新, 等. 太湖五里湖生态重建示范工程——大型围隔试验[J]. 湖泊科学, 2006, 18(2): 139-149.
CHEN Kai-ning, BAO Xian-ming, SHI Long-xin, et al. Ecological restoration engineering in Lake Wuli, Lake Taihu: A large enclosure experiment[J]. *Journal of Lake Science*, 2006, 18(2): 139-149.
- [10] 马剑敏, 成水平, 贺 锋, 等. 武汉月湖水生植被重建的实践与启示[J]. 水生生物学报, 2009, 33(2): 222-229.
MA Jian-min, CHENG Shui-ping, HE Feng, et al. Practice and implication of establishing aquatic vegetation in lake Yuehu in Wuhan, China[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(2): 222-229.
- [11] Carpenter S R, Lodge D M. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes[J]. *Aquatic Botany*, 1986, 26: 341-370.

- [12] Pereira A, Tassin B, Jörgensen S E. A model for decomposition of the down vegetation in an Amazonian Reservoir[J]. *Ecological Modelling*, 1994, 75-76:447-458.
- [13] 尚士友, 杜健民, 李旭英, 等. 草型湖泊沉水植物收割工程对生态改善的试验[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6):95-100.
SHANG Shi-you, DU Jian-min, LI Xu-ying, et al. Experimental study on improving ecological conditions through harvesting submerged plants in a vegetation rich lake[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2003, 19(6):95-100.
- [14] 李国新, 李庆召, 薛培英, 等. 黑藻吸附 Cd^{2+} 和 Cu^{2+} 的拓展 Langmuir 模型研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(1):145-151.
LI Guo-xin, LI Qing-zhao, XUE Pei-ying, et al. Extended Langmuir models for Cd^{2+} and Cu^{2+} biosorption by *Hydrilla verticillata*[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(1):145-151.
- [15] 颜昌宙, 曾阿妍, 金相灿, 等. 不同浓度氨氮对轮叶黑藻的生理影响[J]. 生态学报, 2007, 27(3):1050-1055.
YAN Chang-zhou, ZENG A-yan, JIN Xiang-can, et al. Physiological effects of ammonia-nitrogen concentrations on *Hydrilla verticillata*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3):1050-1055.
- [16] Altamirano M, Flores-Moya A, Figueroa F L. Effects of UV radiation and temperature on growth of germlings of three species of *Fucus* (*Phaeophyceae*)[J]. *Aquatic Botany*, 2003, 75(1):9-20.
- [17] 王 静, 杨 持, 韩文权, 等. 刈割强度对冷蒿可溶性碳水化合物化合物的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(5):908-913.
WANG Jing, YANG Chi, HAN Wen-quan, et al. Effects on water-soluble carbohydrate of *Artemisia frigida* under different defoliation intensities[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5):908-913.
- [18] Fulkerson W J, Donaghy D J. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence-key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: A review [J]. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 2001, 41(2):261-275.
- [19] 鲍雅静, 李政海, 仲延凯, 等. 不同频次刈割对羊草草原主要植物种群能量现存量的影响[J]. 植物学通报, 2005, 22(2):153-162.
BAO Ya-jin, LI Zheng-hai, ZHONG Yan-kai, et al. Effects of mowing frequency on the energy standing crops of major populations in a *Leymus chinensis* steppe of Inner Mongolia[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2005, 22(2):153-162.
- [20] 原保忠, 王 静, 张 荣, 等. 苗期刈割伤害对春小麦生长及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(4):413-416.
YUAN Bao-zhong, WANG Jing, ZHANG Rong, et al. Effect of clipping at seedling stage on growth and yield of spring wheat[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(4):413-416.
- [21] 李金花, 李镇清, 刘振国, 等. 不同刈牧强度对冷蒿生长与资源分配的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3):408-412.
LI Jin-hua, LI Zhen-qing, LIU Zhen-guo, et al. Growth and resource allocation pattern of *Artemisia frigida* under different grazing and clipping intensities[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3):408-412.
- [22] 章家恩, 刘文高, 陈景青, 等. 不同刈割强度对牧草地上部和地下部生长性状的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9):1740-1744.
ZHANG Jia-en, LIU Wen-gao, CHEN Jing-qing, et al. Effects of different cutting intensities on above and underground growth of *Stylosanthes guianensis*[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(9):1740-1744.
- [23] Wu Z, Zuo J, Ma J, et al. Establishing submersed macrophytes via sinking and colonization of shoot fragments clipped off manually[J]. *Wuhan University of Natural Sciences*, 2007, 12(3):553-557.