

种植密度对 2 种沉水植物生长繁殖的影响

程花, 韩翠敏, 林超, 李静 (江苏江达生态科技有限公司, 江苏无锡 214000)

摘要 在自然条件下, 研究 5 种不同种植密度(15、30、45、60 和 75 株/m²) 对刺苦草和密齿苦草在种群和单株水平上生长繁殖的影响。结果表明, 刺苦草和密齿苦草的分株数、扩繁面积、株高、种群生物量、叶绿素含量均随着种植密度的增加先增加后减少, 均在种植密度为 30 株/m² 时达到最大值。刺苦草和密齿苦草的平均单株生物量随着种植密度的增加先减少后增加, 均在种植密度为 30 株/m² 时达到最小值。刺苦草的相对生长速率在种植密度为 15 株/m² 时达到最大, 密齿苦草的相对生长速率在种植密度为 30 株/m² 时达到最大。刺苦草的可溶性糖含量在种植密度为 30 株/m² 时达到最大值, 密齿苦草的可溶性糖含量在种植密度为 45 株/m² 时达到最大值。在 2 种沉水植被恢复过程中, 刺苦草最合适的种植密度为 15~30 株/m², 密齿苦草最合适的种植密度为 30~45 株/m²。

关键词 沉水植物; 种植密度; 刺苦草; 密齿苦草; 生长繁殖

中图分类号 X 173

文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)19-0050-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.19.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of Planting Density on the Growth and Reproduction of Two Submerged Plants

CHENG Hua, HAN Cui-min, LIN Chao et al (Jiangsu Jianda Ecological Technology Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 214000)

Abstract Under natural conditions, the effects of 5 different planting densities (15, 30, 45, 60 and 75 plants/m²) on the growth and reproduction of *Vallisneria spirulosa* and *Vallisneria denseserrulata* at the population and individual plant levels were studied. The results showed that the number of ramets, expansion area, plant height, population biomass and chlorophyll content of *Vallisneria spirulosa* and *Vallisneria denseserrulata* increased first and then decreased with the increase of planting density, and both reached the maximum when the planting density was 30 plants/m². The average biomass per plant of *Vallisneria spirulosa* and *Vallisneria denseserrulata* first decreased and then increased with the increase of planting density, and both reached the minimum when the planting density was 30 plants/m². The relative growth rate of *Vallisneria spirulosa* reached its maximum when the planting density was 15 plants/m², and the relative growth rate of *Vallisneria denseserrulata* reached its maximum when the planting density was 30 plants/m². The soluble sugar content of *Vallisneria spirulosa* reached its maximum when the planting density was 30 plants/m², and the soluble sugar content of *Vallisneria denseserrulata* reached its maximum when the planting density was 45 plants/m². In the restoration process of the two submerged vegetations, the most suitable planting density of *Vallisneria spirulosa* was 15-30 plants/m², and the most suitable planting density of *Vallisneria denseserrulata* was 30-45 plants/m².

Key words Submerged plants; Planting density; *Vallisneria spirulosa*; *Vallisneria denseserrulata*; Growth and reproduction

沉水植物具有维护整个湖泊生态系统的结构和功能的能力, 并且对湖泊生态系统的稳定有决定性影响^[1-2]。很多研究表明, 沉水植物占优势时, 生物多样性提高, 水质净化效果明显^[3-4]。但是, 由于人类活动加剧, 湖泊富营养化问题日趋严重, 导致沉水植物衰落, 有的甚至在水体中消失了^[5-6], 沉水植物的消亡又加速了湖泊生态系统的退化^[7-8]。当沉水植被得到恢复后, 水体营养循环速度降低, 浮游植物过度增长得到控制^[9], 因此, 恢复与重建沉水植物群落, 对退化湖泊生态系统恢复至关重要^[10]。

大型沉水植物生长受多种因素的影响, 如密度、光照、透明度、水深、基质、温度、繁殖体质量等^[11-12]。其中, 密度是影响沉水植物生长的关键因素之一, 许多学者研究了种植密度对玉米^[13]、小麦^[14]、乌头^[15]、油菜^[16]的生长和产量的影响, 但是鲜少有人研究种植密度对沉水植物的影响, 只有王永阳等^[17]研究了初始密度对 3 种沉水植物生物量、节数和茎长的影响。有研究表明, 若沉水植物初始密度较低, 空间资源丰富, 沉水植物单株生长状况良好, 但是由于个体死亡风险概率大、个体数目少等原因, 整个种群建群速度较慢; 如果初始密度过高, 则沉水植物种群个体平均死亡概率小, 但是个体之间的竞争也会加强, 可能导致单株的生物量较低, 使得

沉水植物的种群由于竞争而变得稀疏^[18-19]。因此, 研究沉水植物种植时, 最适的建群密度对沉水植被的恢复有重要意义。该试验研究了不同的种植密度对太湖贡湖湾中 2 种常见的沉水植物生长繁殖的影响, 旨在找出能产生最大生产效益的沉水植物种植密度, 从而为湖泊生态恢复中沉水植被重建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料 供试沉水植物选用贡湖湾生长健硕的刺苦草 (*Vallisneria spirulosa* Yan) 和密齿苦草 (*Vallisneria denseserrulata* Makino)。挑选生长健硕、大小一致的刺苦草和密齿苦草进行种植, 种植基质为太湖贡湖湾旁某池塘的塘泥, 主要成分为黄土和淤泥, 供试水体引自贡湖湾。

1.2 试验方法 资料表明, 当水温超过 10 ℃ 时, 球茎开始萌发, 苦草开始生长, 6—8 月为苦草分蘖生长的旺盛期, 10 月中旬以后分蘖逐渐停止, 进入衰老期^[20]。该试验是从 2020 年 7 月 15 日开始, 10 月 15 日结束, 试验周期为 3 个月。

试验在贡湖湾旁某池塘进行, 水深约 1 m, 种植用水引自贡湖湾, 水质为 III~IV 类。试验中期更换了一次水, 以保证试验期间水质的稳定性。在池塘中打桩和围网格, 围网格尺寸为 2 m×2 m 方格, 高度约 0.8 m, 共 3 排, 每排 5 个。围网格采用透水无纺布, 网格嵌入池塘底泥约 30 cm, 目的是隔绝相邻两围网格的相互影响。

试验设计 5 种植密度, 每个密度 3 个重复。每种密度的沉水植物均匀种植于网格中央 0.8 m×0.8 m 处, 分别种植

基金项目 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07203-004)。

作者简介 程花(1988—), 女, 江苏泰州人, 工程师, 硕士, 从事水生态环境修复研究。

收稿日期 2021-02-04

10、20、30、40 和 50 株,相当于种植密度为 15、30、45、60 和 75 株/m²。

1.3 试验条件背景值 试验开始时,取池塘底泥进行理化性质检测,总有机质 15.36 g/kg、总氮 0.92 g/kg、总磷 0.54 g/kg,从数据来看,该基质能满足沉水植物的生长需求。试验开始至结束,每月对池塘的水进行采样分析,池塘水水质中总氮 0.82~1.03 mg/L、总磷 0.021~0.027 mg/L、氨氮 0.048 8~0.081 0 mg/L、COD 4.67~6.53 mg/L,总的来看,供试水体水质维持在 IV 类以上。

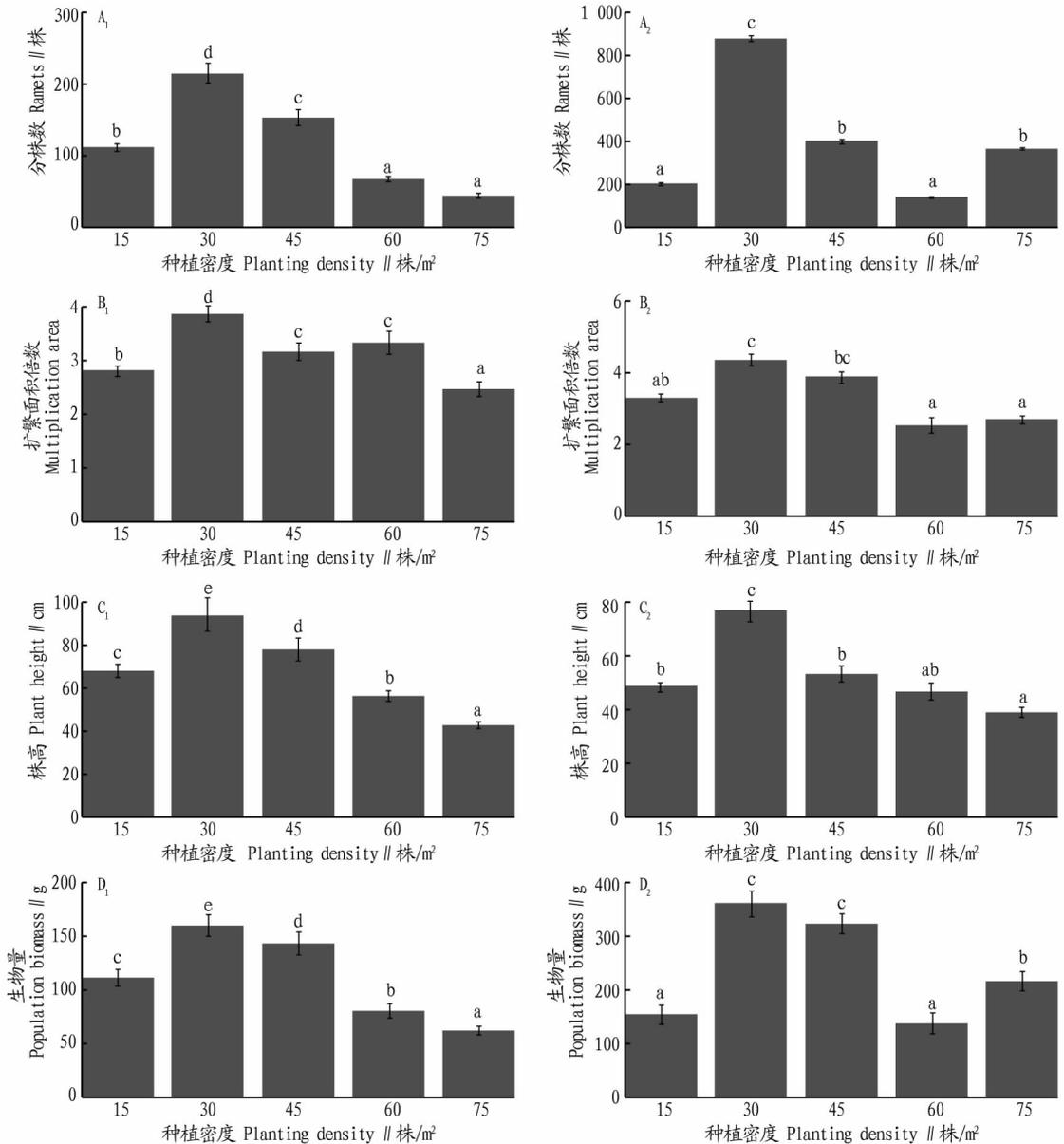
1.4 数据采集 试验于 2020 年 10 月 15 日结束,收获时,将池塘水位降至 50 cm 左右,测定沉水植物扩繁区域,计算扩

繁面积;在每个围格中,随机取 5 片叶子,用于测定叶绿素和可溶性糖;随机取 10 株,测量植物株高,并计算平均值;收获所有植株,洗净,数出总的分株数;最后将其放入 70 °C 烘箱,烘干 72 h 后,测其绝干生物量。

1.5 数据处理 采用 Origin 8.5 对数据进行作图处理,对所有数据进行正态性和方差齐性检验,对于不满足正态性或方差性的数据进行数据转换,将转换完的结果用 SPSS Statistics 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植密度对供试植物分株数、扩繁面积、株高和种群生物量的影响 从图1可以看出,随着种植密度的增加,



注:A₁、B₁、C₁、D₁为刺苦草;A₂、B₂、C₂、D₂为密齿苦草。不同小写字母表示差异显著(P<0.05)

Note:A₁, B₁, C₁, D₁ are *Vallisneria spinulosa*; A₂, B₂, C₂, D₂ are *Vallisneria denseserrulata*. Different lowercase letters indicate significant differences (P<0.05)

图1 不同种植密度下供试植物的分株数(A)、扩繁面积(B)、株高(C)和种群生物量(D)

Fig. 1 The number of ramets (A), multiplication area (B), plant height (C) and population biomass (D) of test plants under different planting densities

无论是刺苦草还是密齿苦草,其分株数、扩繁面积、株高和种群生物量都呈先增加后减少的趋势,且均在种植密度为30株/m²时达到最大值。初始种植密度对供试植物的分株数、扩繁面积、株高和种群生物量均有显著影响,且影响规律基本一致。该结果与王永阳等^[17]在初始密度对3种沉水植物生物量、节数和茎长中的研究有差异。王永阳等得出的结论是种群生物量、株高与初始密度成正比,且其设置的最大初始密度是454株/m²,原因可能是所研究的供试植物不同,不同的供试植物对初始种植密度的要求不同。对于苦草属

的靠地下茎繁殖的沉水植物,其初始密度不能过大,而对于像金鱼藻、穗花狐尾藻等可以靠茎段繁殖的沉水植物,在一定范围内,初始密度越大,生长繁殖情况越好。

从表1可以看出,对于供试植物刺苦草,其分株数与种植密度呈显著负相关($P<0.05$),株高和种群生物量与种植密度呈极显著负相关($P<0.01$),扩繁面积与种植密度呈负相关,但是不显著。对于密齿苦草,其分株数、扩繁面积和种群生物量与种植密度呈负相关且不显著,株高与种植密度呈显著负相关($P<0.05$)。

表1 供试植物分株数、株高、扩繁面积与种植密度的相关性

Table 1 Correlation between the number of ramets, plant height, multiplication area and planting density of tested plants

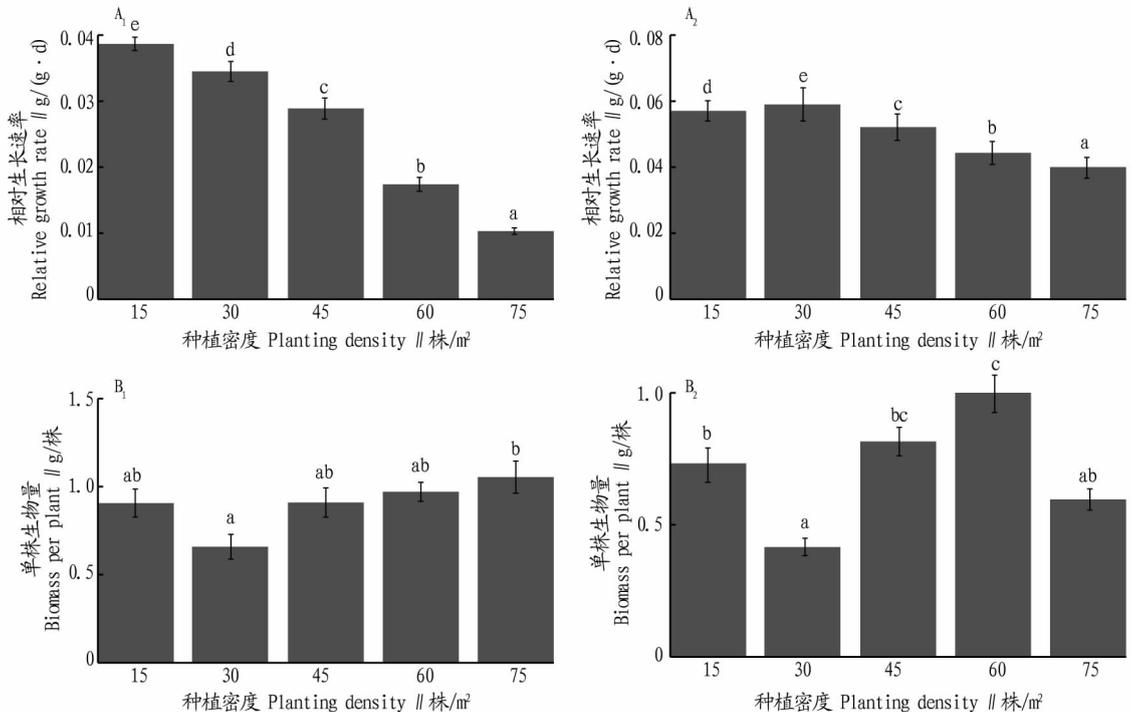
植物名称 Plant name	项目 Item	分株数 Number of ramets	株高 Plant height	扩繁面积 Multiplication area	种群生物量 Population biomass
刺苦草 <i>Vallisneria spinulosa</i>	Pearson 相关性	-0.609*	-0.689**	-0.447	-0.674**
	显著性(双侧)	0.016	0.005	0.094	0.006
	N	15	15	15	15
密齿苦草 <i>Vallisneria denseserrulata</i>	Pearson 相关性	-0.231	-0.520*	-0.497	-0.153
	显著性(双侧)	0.407	0.047	0.060	0.586
	N	15	15	15	15

注: ** . 在0.01水平(双侧)显著相关; * . 在0.05水平(双侧)显著相关

Note: ** . significantly correlated at the 0.01 level (bilateral); * . significantly correlated at the 0.05 level (bilateral)

2.2 不同种植密度对供试植物相对生长速率和单株生物量的影响 从图2可以看出,随着种植密度的增加,刺苦草的相对生长速率逐渐减小;密刺苦草的相对生长速率先增加后减少,在种植密度为30株/m²时达到最大。从单株生物量来看,刺苦草的单株生物量先减少后增加,在种植密度为30株/m²时达到单株最小值,在种植密度为75株/m²时达

到单株最大值;密齿苦草则先减少后增加再减小,在种植密度为30株/m²时达到单株最小值,而在种植密度为60株/m²时达到单株最大值。不同的种植密度对刺苦草和密齿苦草的相对生长速率和单株生物量影响显著。可能原因是在种植密度为30株/m²时,刺苦草和密齿苦草的分株数最大,繁殖最快,尽管种群生物量水平较高,但是单株的生长受种



注: A₁, B₁ 为刺苦草; A₂, B₂ 为密齿苦草。不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)

Note: A₁, B₁ are *Vallisneria spinulosa*; A₂, B₂ are *Vallisneria denseserrulata*. Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$)

图2 不同种植密度下供试植物的相对生长速率(A)和单株生物量(B)

Fig. 2 Relative growth rate and biomass per plant of test plants under different planting densities

内竞争的影响较大。对于刺苦草和密齿苦草的差异,其可能原因是刺苦草比密齿苦草单株所需的生长空间更大,因此刺苦草适应的初始种植密度比密齿苦草略小。

从表2可以看出,刺苦草相对生长速率与种植密度呈极显著负相关($P < 0.01$),与种群生物量、分株数和株高呈极显著正相关($P < 0.01$),与扩繁面积呈显著正相关($P < 0.05$);密

齿苦草相对生长速率与种植密度呈极显著负相关($P < 0.01$),与株高和扩繁面积呈极显著正相关($P < 0.01$)。由此可以间接解释为什么刺苦草和密齿苦草相对生长速率的变化规律有差异。从单株生物量来看,刺苦草的单株生物量与分株数呈极显著负相关($P < 0.01$),与株高呈显著负相关($P < 0.05$);密齿苦草的单株生物量与分株数呈极显著负相关($P < 0.01$)。

表2 相对生长速率和单株生物量与植物各生长指标的相关性

Table 2 Correlation between relative growth rate and biomass per plant and plant growth indicators

植物名称 Plant name	指标 Index	项目 Item	种植密度 Planting density	种群生物量 Population biomass	分株数 Number of ramets	株高 Plant height	单株生物量 Biomass per plant	相对生长速率 Relative growth rate	扩繁面积 Multiplication area
刺苦草 <i>Vallisneria spirulosa</i>	相对生长速率	Pearson 相关性	-0.984**	0.779**	0.701**	0.780**	-0.468	—	0.523*
		显著性(双侧)	0.000	0.001	0.004	0.001	0.079	—	0.045
		N	15	15	15	15	15	—	15
	单株生物量	Pearson 相关性	0.424	-0.512	-0.720**	-0.553*	—	-0.468	-0.492
		显著性(双侧)	0.115	0.051	0.002	0.033	—	0.079	0.062
		N	15	15	15	15	—	15	15
密齿苦草 <i>Vallisneria denseserrulata</i>	相对生长速率	Pearson 相关性	-0.942**	0.441	0.507	0.733**	-0.352	—	0.704**
		显著性(双侧)	0.000	0.100	0.054	0.002	0.198	—	0.003
		N	15	15	15	15	15	—	15
	单株生物量	Pearson 相关性	0.202	-0.485	-0.768**	-0.492	—	-0.352	-0.413
		显著性(双侧)	0.471	0.067	0.001	0.063	—	0.198	0.126
		N	15	15	15	15	—	15	15

注: ** . 在 0.01 水平(双侧)显著相关; * . 在 0.05 水平(双侧)显著相关

Note: ** . significantly correlated at the 0.01 level (bilateral); * . significantly correlated at the 0.05 level (bilateral)

2.3 不同种植密度对供试植物叶绿素含量和可溶性糖含量的影响 叶绿素含量与光合速率、植物营养状况等密切相关。测定叶绿素的含量可以表征植物生长状况。从图3A可以看出,刺苦草的叶绿素含量随着种植密度的增加先增加后减少再增加,密齿苦草的叶绿素含量随着种植密度的增加先增加后减少,且均在种植密度为30株/m²时达到最大值。说明在此种植密度下,刺苦草和密齿苦草的生长繁殖最旺盛,接受的光合作用最强。可能原因是随着种植密度的增加,在供试植物生长初期,植株之间遮挡或竞争,使得植株接受光照不充分,导致试验结束时叶绿素的合成不如种植密度较小的处理。对于最小的种植密度,尽管供试植物之间竞争不强,但是由于种植密度低,繁殖速度低,种群层面上叶绿素合成水平低。

可溶性糖如葡萄糖、蔗糖,在植物的生命周期中具有重要作用。它可以为植物的生长发育提供能量和代谢中间产物。从图3B可以看出,供试刺苦草体内可溶性糖含量随着种植密度的增加先增加后减少再增加再减少,但是在种植密度为30株/m²时达到最大值;密齿苦草体内可溶性糖含量随着种植密度的增加先增加再减少,在种植密度为45株/m²时达到最大值。种植密度对供试植株的可溶性糖含量影响差异显著,过大的种植密度可能影响供试植株可溶性糖的合成,从而影响供试植株的营养输送和汲取。

3 讨论与结论

植物生长遵循自然规律,种植密度是影响植物种群生长

和繁殖最重要的因子之一。对于沉水植物,随着种植密度的增加,单株沉水植物得到的光照、营养均会相应减少,从而抑制植物单体生长^[21-22]。有研究表明,密度过高,当群体进入快速生长阶段时,种群内个体间竞争加剧,不利于植物个体生长;密度过低,基础群体小,生长前、中期叶面积发展慢,光能利用率低,生长速率小,难以得到种群层面繁殖丰盛的效果;只有在适宜的密度下,才能让沉水植物单株和群体生长较好^[23-24]。

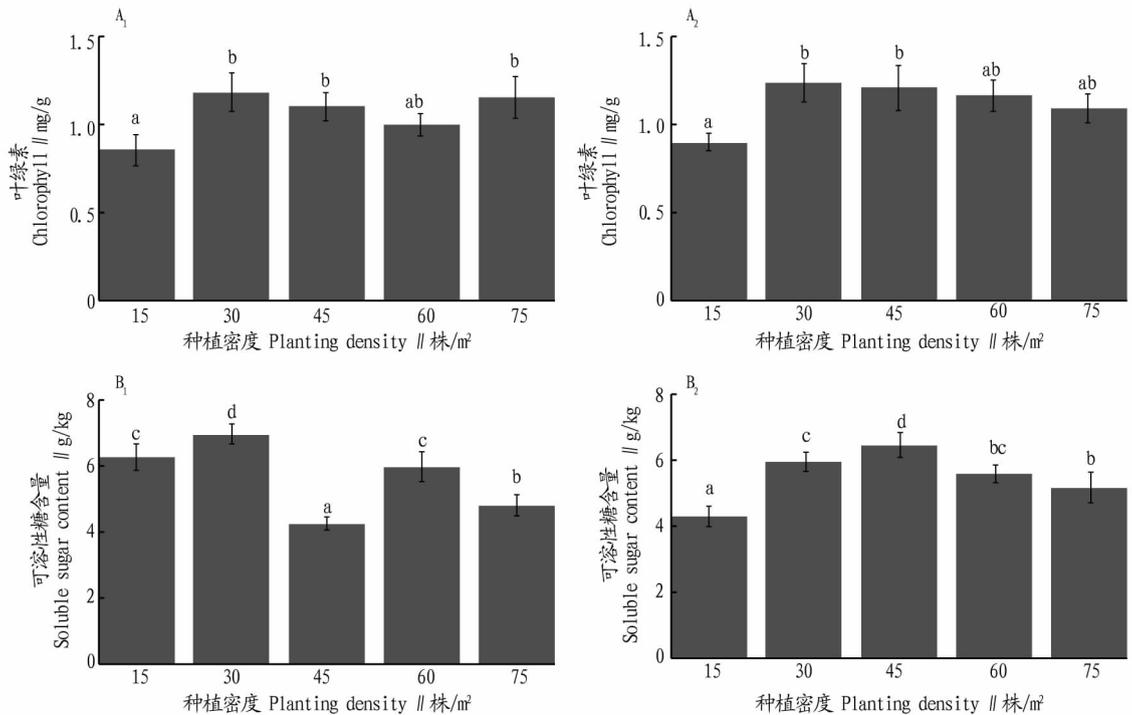
该研究发现,2种沉水植物刺苦草和密齿苦草的分株数、扩繁面积、株高和种群生物量均随着种植密度的增加先增加后减少,且均在种植密度为30株/m²时达到最大。这与王永阳等^[17]研究的结论不一致,其可能原因是研究的沉水植物不同,不同沉水植物对种植密度的反映不同;也可能试验条件不同造成的。该研究选择的是沉水植物生长旺盛期,野外种植,种植周期3个月,更具有指导意义。

从相对生长速率来看,刺苦草随着种植密度的增加逐渐减少,密齿苦草随着种植密度的增加先增加后减少,由此可以推断,刺苦草最适种植密度略小于密齿苦草,这与刺苦草单株通常比密齿苦草粗壮的现实情况也吻合。从单株生物量来看,刺苦草和密齿苦草均在种植密度为30株/m²时最低,与分株数的结果结合起来看,可以分析出此种密度最适合刺苦草和密齿苦草种群的繁殖,之所以单株生物量低,是因为有许多新扩繁的植株。

从生理指标来看,随着种植密度的增加,刺苦草和密齿苦草的叶绿素含量和可溶性糖含量基本呈先增加后减少的

趋势,且均在种植密度为 30~45 株/m² 时达到最大,充分证

明此种植密度是刺苦草和密齿苦草比较适宜的种植密度。



注:A₁、B₁ 为刺苦草;A₂、B₂ 为密齿苦草。不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: A₁, B₁ are *Vallisneria spinulosa*; A₂, B₂ are *Vallisneria denserrulata*. Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$)

图3 不同种植密度下供试植物的叶绿素(A)和可溶性糖含量(B)

Fig. 3 Chlorophyll (A) and soluble sugar content (B) of test plants under different planting densities

综上所述,种植密度对沉水植物生长繁殖影响有显著差异,对于2种沉水植物刺苦草和密齿苦草而言,刺苦草最合适的种植密度为 15~30 株/m²,密齿苦草最合适的种植密度为 30~45 株/m²。因此,在进行沉水植物恢复、种植或者栽培时,应该充分考虑种植密度,以期获得生长最佳的沉水植物种群。

参考文献

- [1] 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [2] 丁海涛,黄文涛,邓呈逊,等. 水生植物对富营养化水体的净化效果研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版),2020,38(1):112-116.
- [3] 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.
- [4] 赵安娜,冯慕华,郭萧,等. 沉水植物氧化塘对污水厂尾水深度净化效果与机制的小试研究[J]. 湖泊科学,2010,22(4):538-544.
- [5] SAND JENSEN K, RIIS T, VESTERGAARD O, et al. Macrophyte decline in Danish lakes and streams over the past 100 years[J]. Journal of ecology,2000,88(6):1030-1040.
- [6] JEPPESEN E, SØNDERGAARD M, SØNDERGAARD M, et al. The structuring role of submerged macrophytes in lakes[M]. New York:Springer, 1998.
- [7] SCHEFFER M. Ecology of shallow lakes[M]. London:Chapman and Hall, 1998.
- [8] 李春艳,邓玉林. 我国流域生态系统退化研究进展[J]. 生态学杂志,2009,28(3):535-541.
- [9] 吴振斌,邱东茹,贺锋,等. 沉水植物重建对富营养化水体氮磷营养水平的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(8):1351-1353.
- [10] 陈清锦. 沉水植物对污染水体的水质改善效应研究[D]. 南京:河海大学,2005.

- [11] 邢春玉,张秋. 沉水植物绿羽毛狐尾藻组织培养体系的建立[J]. 安徽农业科学,2020,48(10):68-70,78.
- [12] 王永阳. 密度、水位和物种多样性对沉水植物生长的影响[D]. 北京:北京林业大学,2015.
- [13] 刘伟,吕鹏,苏凯,等. 种植密度对夏玉米产量和源库特性的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(7):1737-1743.
- [14] 张娟,武同华,代兴龙,等. 种植密度和施氮水平对小麦吸收利用土壤氮素的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1727-1734.
- [15] 蔡仕珍,李璟,潘远智,等. 不同种植密度对乌头生长发育的影响[J]. 草业学报,2011,20(2):278-282.
- [16] 邵留东. 不同播期条件下种植密度对油菜生长发育及产量的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2009.
- [17] 王永阳,罗芳丽,李红丽,等. 初始密度对3种沉水植物生物量、节数和茎长的影响[J]. 湿地科学,2014,12(6):740-746.
- [18] 夏江宝,陆兆华,孔雪华,等. 黄河三角洲湿地柽柳林生长动态对密度结构的响应特征[J]. 湿地科学,2012,10(3):332-338.
- [19] 冯承婷,赵强民,甘美娜. 关于景观水体生态修复沉水植物生物量配置探讨[J]. 中国园林,2019,35(5):117-121.
- [20] 张来甲,叶春,李春华,等. 不同生物量苦草在生命周期的不同阶段对水体水质的影响[J]. 中国环境科学,2013,33(11):2053-2061.
- [21] COUSENS R, HUTCHINGS M J. The relationship between density and mean frond weight in monospecific seaweed stands[J]. Nature,1983,301(5897):240-241.
- [22] 朱协军,韩璐,方根生. 苦草(*Vallisneria natans*)无性系结构与生长特征对种群密度的响应[J]. 基因组学与应用生物学,2017,36(7):3003-3007.
- [23] 林炎照. 不同种植密度和施肥水平对薹苳产量及构成因素的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(6):217-221.
- [24] 陈柔屹,冯云超,唐祈林,等. 种植密度对玉草1号产量与品质的影响[J]. 草业科学,2009,26(6):96-100.