

文章编号: 1004-8227(2009)02-0234-07

底质营养盐对菹草生长及养分分配的影响

袁龙义^{1,2}, 陶 玲^{1,3}, 李 伟^{1*}, 刘贵华¹

(1. 中国科学院武汉植物园水生植物生物学实验室, 湖北 武汉 430074; 2. 长江大学园艺园林学院, 湖北 荆州 434025;
3. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 荆州 434000)

摘 要: 在野外池塘中, 利用 3 种不同营养状况的底质研究底质营养盐对菹草生长及养分分配的影响, 结果表明: 沉水植物菹草面对底质营养盐的胁迫出现了急性的生理生化反应, 在生长初期叶片总的可溶性糖含量在肥沃的底质上高于贫营养底质上; 根、茎、叶和石芽各构件都具有异速生长现象, 并且表现规律不一样; 菹草的根冠比随底质营养盐的不同而变化; 随着营养条件对菹草生长胁迫加重, 根、冠的异速生长愈明显, 同时石芽的 N/P 和 C/N 比率显著受底质营养盐的影响, 而菹草叶片和茎 N/P 和 C/N 比率不受底质肥力的影响, 这些响应将改变石芽第 2 年的命运和影响种群的维持; 在胁迫生境下, 菹草首先分配资源到无性繁殖体——石芽上以便维持种群的延续, 以回避策略应对底质营养盐胁迫。

关键词: 菹草; 底质; 植物石芽; 胁迫; 物质分配

文献标识码: A

自然生境不是均匀分布的, 而是斑块状分布, 植物如何应对资源有效性的变化一直是植物生态学的热点问题。经典的假设认为植物以某种方式最优化地利用资源来适应环境变化^[1]。最优分配理论和模型认为: 植物面对资源不足时, 将通过分配物质到不同的植物组织最优化摄取营养、光、水份和 CO₂ 以最大化的方式维持植物的生长速率^[2,3]。在许多影响植物生长表现的环境因子中, 底质营养有更大的时空异质性, 因此研究植物对营养异质性的可塑变化有重要意义。许多研究表明: 植物的许多形态特性、生物量和抽条长度都对底质的特性作出反应^[4-6]; 也有研究提出了沉水植物面对环境胁迫时的短期适应策略^[7,8]。面对底质营养的不同, 沉水植物不只是发生可塑性变化, 还可能改变植物的资源分配策略以及沉水植物的繁殖响应策略, 进而在不同底质营养条件下沉水植物可能表现出具有不同的适应策略。

植物在漫长的进化过程中已经形成了优先供应繁殖构件能量和物质的生理学机制^[9]。植物面对异质生境具有不同的资源分配策略, 是生殖构件形成、

生长和整个植株物质生产与分配长期调剂的结果^[5]。因此, 深入研究植物生殖构件的表型可塑性与分株物质生产和分配的内在联系及其变化规律, 不仅是认识客观事物的科学问题, 对于恢复受损植被, 也具有重要的实践意义。基于此, 本研究以长江中下游地区湖泊的优势种菹草(*Potamogeton crispus* L.) 为实验对象, 研究不同营养底质对沉水植物的生长及养分分配的影响, 理解菹草的生存策略和种群的维持机制。主要有两个目的: (1) 调查沉水植物面对不同营养浓度的底质如何变更植物的资源分配策略。(2) 是否变更沉水植物不同组织间的 C、N、P 分配以及对种群维持是否有重要意义?

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

菹草(*P. crispus*) 是一种世界广泛分布的沉水植物, 也是长江中下游地区的浅水湖泊的优势种。它在每年的秋天开始萌发, 整个冬季生长, 在每年 4~7 月能形成大量的无性繁殖体——石芽, 每年

收稿日期: 2008-01-29; 修回日期: 2008-05-25

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-1-10); 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412300); 国家自然科学基金资助项目(30570291); 长江大学博士启动基金(801190010103)

作者简介: 袁龙义(1971~), 男, 湖北省公安人, 博士, 主要从事水生植物生物学研究。

* 通讯作者 E-mail: liwei@rose.whioh.ac.cn

7~ 9 月的高温期石芽处于休眠期, 9 月到第 2 年元月石芽萌发的高峰期, 菹草的最大生物量为每年的 4、5 月份。菹草实验材料取自西凉湖。

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计

实验在中国科学院武汉植物园室外水塘中进行, 研究富营养或贫营养的底质对菹草生长和繁殖策略的影响。用塑料桶(顶部直径为 27 cm, 底部直径为 22 cm, 高为 14 cm) 培养植株, 每个桶中放入一层沙, 然后分别放入 0, 17. 5 和 36 g 的 Osmocote® 牌缓释肥(氮、磷、钾的比率为 12: 4: 4), 每个处理 5 个重复, 每个处理共有 25 桶, 再用沙覆盖缓释肥, 每个桶大约有 5 kg 的沙, 这样就形成了 3 种不同营养梯度(N/P: 0/0; 0. 22%/0. 08%; 0. 44%/0. 16%) 的底质。其中最高浓度的底质相当于超富营养的底质生境。

于 2004 年 11 月 10 日开始实验。将 25 cm 长的菹草枝条扦插到桶中, 每个桶中插 5 株枝条, 共种植了 375 株菹草枝条, 然后轻轻地将这些塑料桶沉入水深 80 cm 的室外水塘中, 让它们更接近自然状态下的生长情况, 各个处理间相距 30 m 放置; 实验布置完后每隔 20 d 取样一次, 每个处理每次取 5 桶, 分 5 次取完所有的植物样, 统计每桶菹草的石芽数和枝条数, 并将菹草分为根、茎、叶和石芽, 分别在 80 ℃ 烘至恒重并称干重。实验期间菹草没有形成种子。

植株种植 20 d 后, 取不同处理的菹草叶片, 测定叶绿素含量(mg/g) 和可溶性糖含量(%) 评价菹草对底质的短期生理反应; 每月定期监测水塘水体的

物化指标: TP、TN、pH 值、电导率和温度(表 1) 。

表 1 实验水塘水质指标的平均值和标准差

Tab. 1 Mean Values and S. D of Parameters of Water Measured in the Pond at the Experiment

参数	水 样			
	最小值	最大值	平均值	标准差
温度(℃)	8. 9	16. 6	13. 006	3. 555
pH 值	8. 46	9. 29	8. 708	0. 336
电导率(μS/cm)	276	328	308. 6	20. 008
总磷量(mg/L)	0. 0351	0. 0403	0. 0377	0. 0026
总氮量(mg/L)	1. 155	1. 462	1. 331	0. 158

1.2.2 化学分析

植物样品干重用作总 C 的估计值^[1], 植物样品的总 N 用浓硫酸和高氯酸混酸消煮+ 靛酚蓝比色法测定, 植物样品总 P 用浓硫酸和高氯酸混酸消煮+ 钼锑抗比色法测定^[10]。

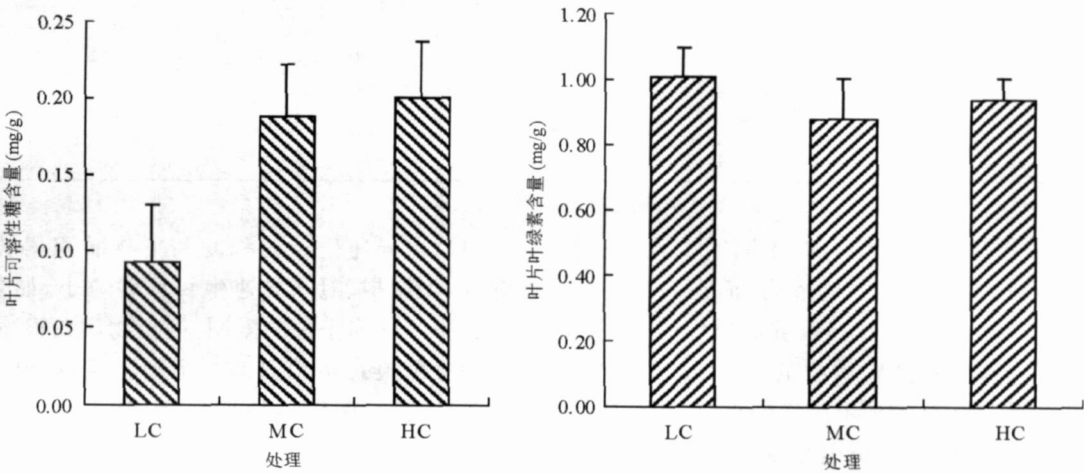
1.3 数据分析

实验设计是单因素实验方案, 所有数据在分析前被转换为对数保证数据的正态分布。用单因素方差分析(one-way ANOVA) 和重复测量方差分析(Repeated Measures) 检验处理间的差异, 不同处理对石芽数和抽条数的影响用非参数检验, 所有统计分析借助于 SPSS11. 0 软件。

2 实验结果

2.1 生化反应

沉水植物菹草(*P. crispus*) 在生长初期面对肥沃的底质显示一个短期的生理适应(图 1)。在中营



LC 表示低营养底质; MC 表示中营养底质; HC 表示高营养底质; a, b 表示 0. 05 显著水平上不同处理间的差异

图 1 实验初期不同处理下菹草叶片的可溶性糖和叶绿素含水量的平均值±标准差

Fig. 1 Mean ± S. E of Total Soluble Sugars and Chlorophyll a Content in Leaves of *Potamogeton crispus* L.

at the Early Stages of Plant Growth

养、高营养底质中, 菹草叶片的可溶性糖的含量显著高于低营养底质中的($F_{2,14}=9.758, P=0.002$); 而菹草叶片的叶绿素含量在各个处理间没有显著差异($F_{2,14}=0.400, P=0.687$), 表明光合作用机能没有受到底质营养的影响。

2.2 植物的生物量分配

菹草的根、茎、叶和石芽的生物量虽然在不同取样时间上有显著差异, 表明有显著生长, 在各个处理间没有显著的差异(表2)。但实验结束时在低营养底质上生成的石芽生物量显著高于其它2种底质上生成的石芽生物量(表3), 另外菹草植株在各个处理间形成的抽条数没有显著的差异($\chi^2=1.518, P=0.468$)。通过分析菹草各构件的异速生长情况发现: 根、茎、叶和石芽各构件都具有异速生长现象, 并且表现规律不一样。用拟合方程的确定系数 R^2 来估计遗传因子的贡献程度, 环境因子用 $1-R^2$ 来估计, 则菹草各构件异速生长受底质营养的影响程度分别为: 根> 石芽> 叶> 茎, 并且各个处理间表现规律不一致(图2)。在胁迫生境下(高营养基质或低营

养基质) 石芽生物量的分配更多地受遗传因子的影响(图2, LC: $R^2=0.8369$; HC: $R^2=0.7509$)。

表 2 不同底质的肥力对菹草生长影响的重复测量方差分析结果

Tab. 2 Results of Repeated Measures Testing the Effects of Different Nutrient Concentration of Sediment on the Performances of <i>P. crispus</i> L.			
变 量	变异来源		
	Nutrient gradient(<i>N</i>)	Time (<i>T</i>)	<i>N</i> × <i>T</i>
生物量的分配			
根冠比	6.757*	5.150 ^{ns}	0.808 ^{ns}
每株根的生物量(g)	4.940 ^{ns}	15.014*	1.133 ^{ns}
每株茎的生物量(g)	1.162 ^{ns}	21.882*	1.474 ^{ns}
每株叶的生物量(g)	0.178 ^{ns}	8.777*	0.632 ^{ns}
每株石芽的生物量(g)	0.454 ^{ns}	22.310*	1.733 ^{ns}
植物营养含量			
茎的含氮量(mg/g)	57.617*	15.704 ^{ns}	1.377 ^{ns}
茎的含磷量(mg/g)	14.801**	13.8 ^{ns}	2.438 ^{ns}
叶的含氮量(mg/g)	3.920 ^{ns}	1.594 ^{ns}	0.854 ^{ns}
叶的含磷量(mg/g)	1.822 ^{ns}	4.081 ^{ns}	1.017 ^{ns}
石芽的含氮量(mg/g)	5.790*	9.802**	2.038 ^{ns}
石芽的含磷量(mg/g)	1.273 ^{ns}	9.458**	1.702 ^{ns}

注: ns 表示 $P>0.05$ (non-significant); * 表示 $P<0.05$; ** $P<0.001$

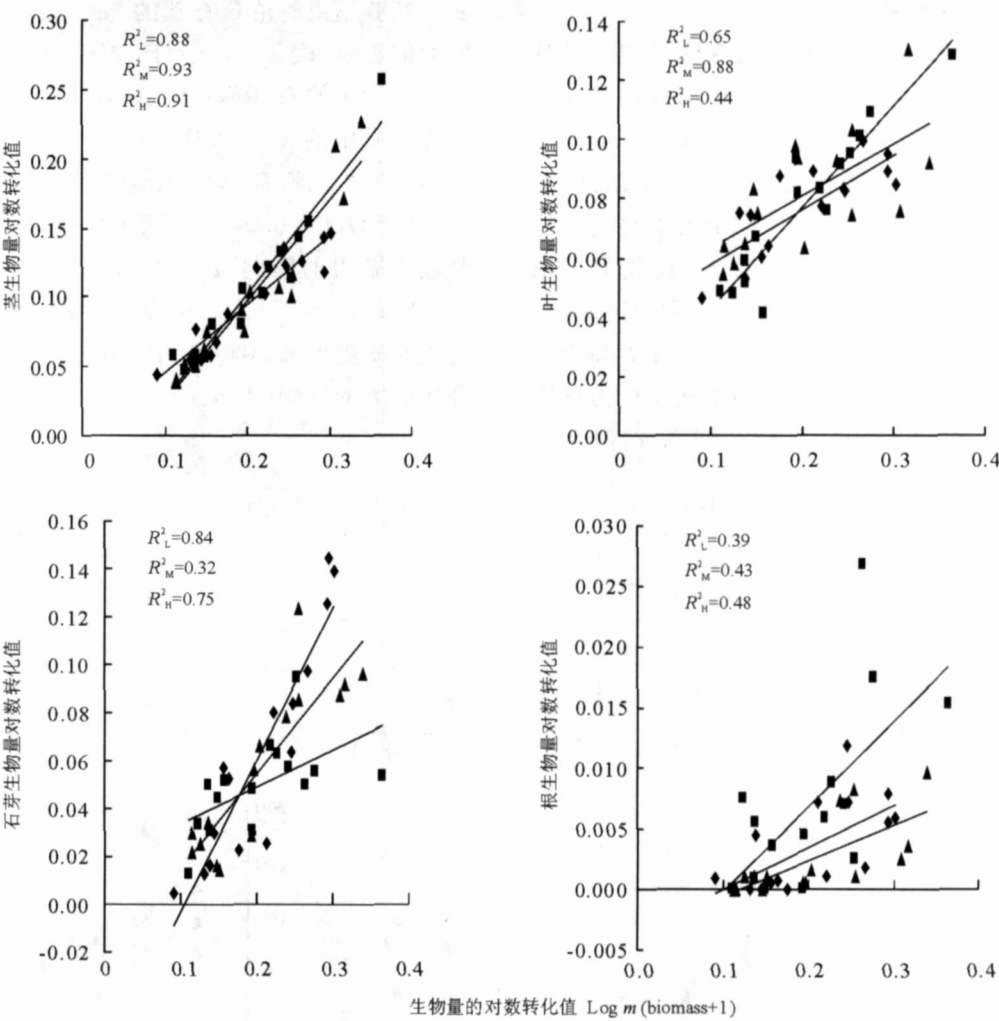
表 3 实验结束时不同底质上菹草抽条数、生物量、总氮、总磷和 N:P 比率的平均值±标准差

Tab. 3 Number of Branches, Biomass, Total Plant N, Total P and N:P Ratio of <i>P. crispus</i> in the Different Nutritional Concentration Sediment at the End of the Experiment (Means ± S D)			
变 量	处 理		
	LC	MC	HC
每株抽条数	4.000±0.816 ^a	3.000±0.50 ^a	3.000±0.853 ^a
每株根生物量(g)	0.015±0.002 ^a	0.035 1±0.028 8 ^a	0.012 3±0.009 1 ^a
每株茎生物量(g)	0.3671±0.047 ^a	0.498±0.269 9 ^a	0.592 9±0.101 4 ^a
每株叶生物量(g)	0.229±0.014 5 ^a	0.283±0.053 2 ^a	0.285±0.082 5 ^a
每株石芽生物量(g)	0.369±0.030 9 ^a	0.165 5±0.067 5 ^b	0.235 2±0.012 9 ^a
茎含氮量(mg/g)	4.443±1.257 ^b	9.578±5.632 ^a	11.908±3.306 ^a
叶含氮量(mg/g)	5.012±1.726 ^a	6.227±3.149 ^a	5.051±2.284 ^a
石芽含氮量(mg/g)	6.517±1.411 ^a	1.692±1.571 ^b	3.467±1.063 ^b
茎含磷量(mg/g)	1.066±0.159 ^b	1.905±0.982 ^{ab}	2.416±0.399 5 ^a
叶含磷量(mg/g)	1.061±0.149 ^a	1.232±0.453 ^a	1.167±0.279 ^a
石芽含磷量(mg/g)	1.022±0.173 ^a	0.406±0.301 ^b	0.697 3±0.179 ^{ab}
茎的氮磷比	4.228±1.292 ^a	4.89±1.093 ^a	4.516±1.543 ^a
叶的氮磷比	4.666±1.369 ^a	4.943±1.215 ^a	4.104±0.765 ^a
石芽的氮磷比	6.381±0.771 ^a	3.810±0.741 ^c	4.885±0.283 ^b

注: 字母 a, b, c 表示显著水平上各个不同处理间的差异($P=0.05$)

菹草的根冠比随底质肥力的不同而变化(见图3)。在中营养底质中其根冠比最高, 而在高营养底质中其根冠比最低, 显然, 在高营养底质中的根冠比显著低于低营养、中营养底质中的($F=6.757, P=0.029$)。根、冠生长动态是由菹草自身遗传特性和环境因素共同决定的。分析菹草根、冠物质分配关系的规律可知(图4), 菹草根、冠之间存在异速生长关系, 并且符合如下方程: $y=a+bx$ 。y 代表根干重的对数, x 代表冠干重的对数, a 为截距, b 为线性回归系数。b 值有大小可以反映底质营养条件的优

劣, 根、冠异速生长的程度和干物质积累状况, b 值愈大, 说明根、冠间异速生长程度愈小, 如果说菹草生长不受任何条件的限制, 则干物质在根、冠间只有一种分配模式, b 值只有一个确定值; 如果菹草生长的条件变化, 则根、冠间的分配模式将会发生变化。本研究显示: 底质的营养条件显著影响菹草根、冠生长和根、冠关系。中营养(MC)处理的 b 值最大, 异速生长程度愈小; 而低营养(LC)和高营养(HC)底质处理的 b 值下降, 营养条件对菹草生长胁迫加重, 根、冠的异速生长愈明显(图4)。



菹草茎与植株的异速生长关系 $LC: y=0.4928x-0.004$; $MC: y=0.757x-0.0502$; $HC: y=0.7274x-0.0488$.
菹草叶与植株的异速生长关系 $LC: y=0.1842x+0.0395$; $MC: y=0.3404x+0.009$; $HC: y=0.1772x+0.045$.
菹草石芽与植株的异速生长关系 $LC: y=0.6308x-0.0659$; $MC: y=0.1526x+0.0185$; $HC: y=0.3975x-0.0249$.
菹草根与植株的异速生长关系 $LC: y=0.0344x-0.0034$; $MC: y=0.0704x-0.0073$; $HC: y=0.0296x-0.0035$
 y 和 x 分别代表着菹草构件 植株生物量的自然对数; ◆表示 LC(低营养底质); ■表示 MC(中营养底质); ▲表示 HC(高营养底质)

图 2 菹草各组分生物量与总生物量的异速生长规律

Fig. 2 Allometric Relationships Between Constituent Biomass and Total Biomass of *P. crispus* Code of Nutrient Levels

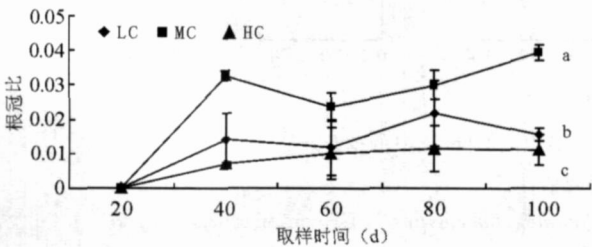


图 3 不同处理下菹草根冠比的变化

Fig. 3 Changes in the Ratio of Below/Above-Ground Biomass of *Potamogeton crispus* L. During the Experimental Period

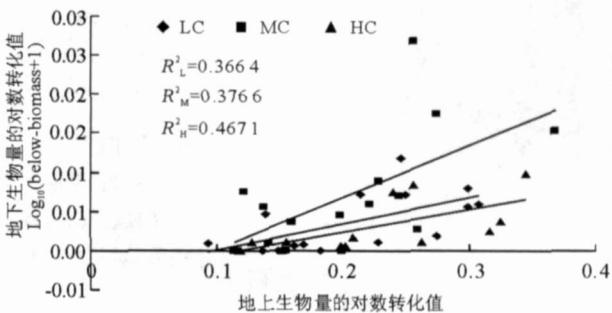


图 4 菹草根、冠间的异速生长规律

Fig. 4 Allometric Relationships Between Below-Ground Biomass and Above-Ground Biomass of *P. crispus* Code of Nutrient Levels

菹草根与冠的异速生长关系 $LC: y=0.0338x-0.0032$;
 $MC: y=0.0693x-0.0066$; $HC: y=0.0295x-0.0034$

2.3 植物的营养变化情况

菹草植物组织的 N、P 浓度随着底质肥力显现不同的变化(表 2)。菹草茎的 N、P 浓度显著受底质肥力的影响($F=57.617, P=0.019; F=14.801, P<0.001$), 茎 N、P 浓度在高营养底质中最高, 在低营养底质中最低; 菹草石芽 N 的浓度也显著受底质肥力的影响($F=5.790, P=0.024$), 而其 P 的浓度在各个处理间没有差异($F=1.273, P=0.326$), 石芽 N 的浓度在低营养、高营养底质中显著高于中营养底质的; 而叶片的 N、P 浓度不受底质肥力的影响($F=3.920, P=0.06; F=1.822, P=0.217$)。

实验结束时菹草石芽的 N:P 比率显著受底质肥力的影响(表 3, $F_{2,14}=16.355, P=0.001$), 在低营养底质中的石芽 N:P 比率显著高于中营养和高营养底质中的 ($LSD, P<0.001, P=0.009$), 而高营养底质中的石芽 N:P 比率显著高于中营养底质中的($LSD, P=0.041$); 菹草叶片和茎 N:P 比率不受底质肥力的影响($F_{2,14}=0.557, P=0.591; F_{2,14}=0.252, P=0.782$)。菹草石芽的 C:N 比率也显著受底质肥力的影响, 而叶片和茎的 C:N 比率不受底质肥力的影响(图 5)。

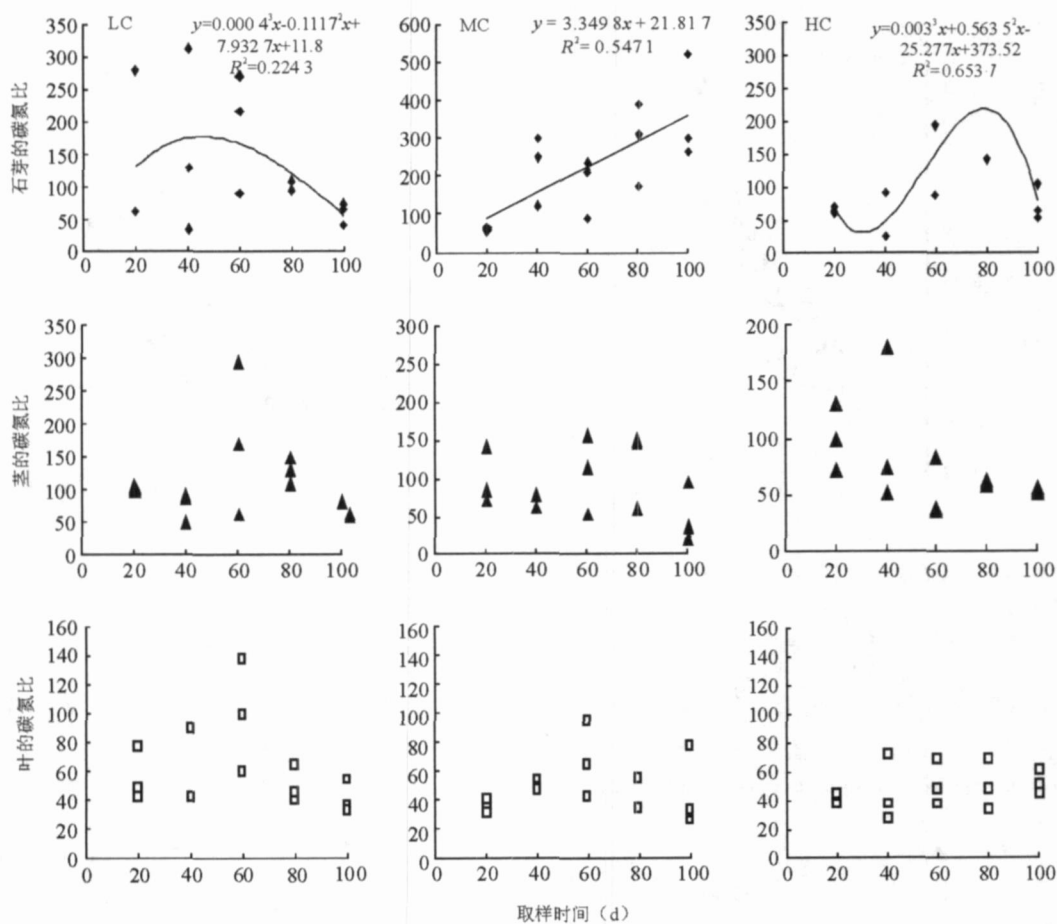


图 5 生长在不同底质上的菹草各个组织的 C:N 比率的变化
生物量干重作为碳的估计值

Fig. 5 Changes in C:N Ratio of Each Component of *Potamogeton crispus* L. Grown on Three Types of Sediment, Dry Mass as an Estimate of Carbon

3 讨论

沉水植物菹草对底质营养状况有着较强的适应能力。在高营养底质胁迫下沉水植物菹草出现急性生理响应, 在肥沃底质上叶片可溶性糖的含量高于

在贫营养的底质上的。主要是由于胁迫生境中菹草叶片可溶性糖不仅为植物体内各种成分的合成提供能量和原料, 而且是主要的渗透调节物质, 随着营养胁迫的加剧, 可溶性糖参与渗透调节作用, 维持细胞的正常渗透压, 稳定细胞中酶分子的活性构象, 保护酶免受直接伤害, 减少营养胁迫对植物的影响, 增强

植物适应环境的能力^[11], 比正常可溶性糖的含量 $0.1 \sim 0.15 \text{ mg/g}$ 高出 $50\% \sim 100\%$, 从而增加了菹草在底质营养胁迫条件下生存的机会。

底质营养条件胁迫越大, 根系与叶冠相对生长速率的差异愈大, 根、冠的异速生长愈明显, 根、冠相互调节不力, 各自的功能降低, 干物质积累减少, 通过菹草的内部机能的调节, 分配到无性繁殖体的生物量增多以便维持种群的延续。总体上, 底质营养浓度增高, 菹草根、冠的异速生长加剧, 干物质积累减少; 另外, 沉水植物菹草的繁殖策略紧密联系着环境的胁迫。菹草在贫营养和超富营养底质条件下比中等营养底质环境下形成更多的无性繁殖体——石芽(见图2), 这种繁殖策略可能是菹草应对不适环境的一种机制。许多研究表明: 植物内部资源的有效性和形成繁殖体的芽体有效性可能限制无性繁殖体形成, 而且繁殖体诱导需要特殊的环境条件。本研究认为菹草石芽的形成与胁迫底质环境相关, 当沉水植物菹草生长在胁迫环境中(比如低营养底质或超营养底质), 菹草将形成一定数量的石芽有利于种群延续, 以回避策略应对底质环境的胁迫, 这种无性繁殖模式代表着沉水植物菹草对底质胁迫环境的适应策略。

植物地上部分的营养浓度和 N:P 比率常在湿地植物研究中重点考虑^[12, 13]。当植物 N:P 比率 > 16 和植物组织 $P < 1.0 \text{ mg/g}$ 时, 植物生长被认为是磷限制; 当植物 N:P 比率 < 14 和植物组织 $N < 20.0 \text{ mg/g}$ 时, 植物生长被认为是氮限制。根据这些观点, 沉水植物菹草在底质肥力胁迫下的表现被认为是氮限制(见表3), 之所以所有的处理没有发生磷限制, 可能与培养基质是沙基质有关。Abrahamson(1982)认为营养含量是比生物量更能评价资源分配的因素, 严格的资源分配模式反映了植物的生态策略^[14]。正因为底在底质肥力胁迫下产生的氮限制改变了菹草内部的碳氮比进而改变了植物的生态策略, 就如本研究一样, 菹草在底质胁迫生境下分配更多的生物量和营养到石芽而不是到茎、叶部分。

碳氮平衡假设(CNBH)也是理解植物资源分配模式的有效途径之一^[15], 这个假设指导我们理解植物对异质营养环境的响应情况^[16]。本研究发现菹草石芽的 C:N 比率在不同肥力底质下有显著的不同响应模式(图5), 这种响应模式是植物面对不同资源有效性时, 植物生理响应不同, 改变了资源分配, 最终将改变菹草石芽第二年的命运和影响菹草

种群的维持。前人的研究也发现了无性繁殖体或在氮水平^[17, 18]或碳水平^[18]上不同, 这些结论说明繁殖体的最后命运决定于它们的营养水平^[19], 繁殖体的营养水平的改变将影响它们将来的繁殖策略。

参考文献:

- [1] BLOOM A J, CHAPIN F S, MOONEY H A. Resource limitation in plant—an economic analogy[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1985, 16: 363~ 392.
- [2] DEWAR R C. A root-shoot partitioning model based on carbon-nitrogen-water interactions and Munch phloem flow[J]. *Functional Ecology*, 1993, 7: 356~ 368.
- [3] HILBERT D W. Optimization of plant root: shoot ratios and internal nitrogen concentration[J]. *Annals of Botany*, 1990, 66: 91~ 99.
- [4] BARKO J W, SMART R M. Sediment-related mechanisms of growth limitation in submersed macrophytes[J]. *Ecology*, 1986, 67: 1328~ 1340.
- [5] BARKO J W, SMART R M, MCFARLAND D G. Interactive effects on environmental conditions on the growth of submersed aquatic macrophytes[J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 1991, 6: 199~ 207.
- [6] JAYNES M L, CARPENTER S R. Effects of vascular and non-vascular macrophytes on sediment redox and solute dynamics[J]. *Ecology*, 1986, 67: 875~ 882.
- [7] XIE Y H, YU D. The significance of lateral roots in phosphorus (P) acquisition of water hyacinth(*Eichhornia crassipes*)[J]. *Aquatic Botany*, 2003, 75: 311~ 321.
- [8] XIE Y, WEN M, YU D, LI Y. Growth and resource allocation of water hyacinth as affected by gradually increasing nutrient concentrations[J]. *Aquatic Botany*, 2004, 79: 257~ 266.
- [9] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2001: 153~ 155.
- [10] 董 鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [11] XU X M, YE H C, LI G F. Progress in research of plant tolerance to saline stress[J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2000, 6(4): 379~ 387.
- [12] WASSEN M J, OLEDE VENTERINK H G M, SWART E O-AM D E. Nutrient concentrations in mire vegetation as a measure of nutrient limitation in mire ecosystems[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1995, 6: 5~ 16.
- [13] KOERSELMAN W, ELEM A F M. The vegetation N: P ratios: a new tool to detect the nature of nutrient limitation[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33: 1441~ 1450.
- [14] ABRAHAMSON W Q. On the comparative allocation of biomass, energy, and nutrients in plant[J]. *Ecology*, 1982, 63: 982~ 991.
- [15] HAMILTON J, ZANGERL A, DELUCIA E, et al. The carbon-nutrient balance hypothesis: its rise and fall[J]. *Ecology*

Lett, 2001(4): 86~ 95.

[16] BRYANT J, CHAPIN III F, KLEIN D. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory[J]. Oikos, 1983, 40: 357~ 368.

[17] PAKONEN T, LAINEN K, HAVAS P, et al. Effects of berry production and deblossoming on growth, carbohydrates and nitrogen compounds in *Vaccinium myrtillus* in north Finland [J]. Acta Botanica Fennica, 1988, 136: 37~ 42.

[18] CIPOLLINI M L, STILES E W. Costs of reproduction in *Nyssa sylvatica*: sexual dimorphism in reproductive frequency and nutrient flux[J]. Oecologia, 1991, 86: 585~ 593.

[19] CALOW P. The cost of reproduction—a physiological approach[J]. Biological Review, 1979, 54: 23~ 40.

ON THE EFFECTS OF DIFFERENT NUTRIENT CONCENTRATIONS OF
SEDIMENT ON THE GROWTH AND RESOURCE ALLOCATION
OF *POTAMOGETON CRISPUS*

YUAN Long-yi^{1,2}, TAO Lin^{1,3}, LI Wei¹, LIU Gu-hua¹

(1. Laboratory of Aquatic Plant Biology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China;
2. College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou 434025, China;
3. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China)

Abstract: The influence of three kinds of sediments with different nutrient status on the growth and resource allocation of a submerged freshwater macrophyte *Potamogeton crispus* L. was examined outdoors in the pond. The results showed that the growth of submerged macrophyte *P. crispus* showed a temporary physiological response to different nutrient concentrations of sediment. Total soluble sugars content of leaves was higher on the fertile sediment than that on the low nutritional sediment at the early stages of plant growth. There was a regulation of allometric growth in the accumulation of biomass of roots, stems, leaves and turions of *P. crispus*, which showed different regulations of allometry. The ratios between below-ground and above-ground biomass exhibited a dependent change on any sediment nutrient level. Allometric growth relationships between below-ground biomass and above-ground biomass of *P. crispus* were significantly affected by the sediment nutrients. At the same time, the C: N and N: P ratios of turions were significantly affected by the three sediment types. However, the C: N and N: P ratios of leaves and stems were not significantly affected by the three sediment types. The response may change the fate of the turions in the second year, and affect the maintenance of the populations. With biomass allocation regulation, *P. crispus* firstly allocated more biomass to the formation of turions to continue the populations showing refuging life-history strategy under the stress of sediment nutrients.

Key words: *Potamogeton crispus*; sediment; plant turion; stress; resource allocation