第13卷 第2期 水生生物学报 Vol. 13, No. 2
1989 年 6 月 ACTA HYDROBIOLOGICA SINICA June, 1989

菹草生产力的研究*

陈洪达
(湖北省水产科学研究所,武汉)

提 要

本文报道了水温、光照度、水的 pH 值和植株密度对菹草生产力影响的实验结果,以及植株不同部位上的生产力和叶绿素含量的测定值。

在光照度 8 000lx 和水温 20—28℃ 的条件下,经 51 次测定,菹草顶枝的毛产量(P_G)在 0.80—1.06 毫克氧·小时/0.5 克鲜重植物范围,平均值为 0.92 毫克氧·小时/0.5 克;净产量(P_N)在 0.44—0.79 毫克氧·小时/0.5 克范围,平均值为 0.61 毫克氧·小时/0.5 克。1 小时的平均净光合率为 1.11%,1 小时的平均呼吸率为 0.53%。

关键词 菹草,生产力,光合作用

材料和方法

菹草生产力的测定,是通过测定植物在光合作用和呼吸作用过程中所产生或消耗的氧量,进而计算出植物的毛产量、呼吸量和净产量,以及光合率和呼吸率。测氧的方法是采用碘量法和自动平衡记录仪测氧法。自动平衡记录仪是作者安装制作的,测氧用的探头为铂金电极,系中国科学院上海植物生理研究所产品。试验瓶是作者特别设计的夹层玻璃瓶,容积为 260 毫升。培养液系武汉东湖自来水和自行配制的 2 号培养液。据中国科学院水生生物研究所生态学研究室水化学组的分析,试验期间东湖湖水的总无机氮含量为 0.1465—0.7423 毫克/升,正磷酸盐为 0.007—0.019 毫克/升。2 号培养液的无机氮含量为 8.5 毫克/升,磷酸盐为 1.78 毫克/升。水温的控制是用超级恒温水浴锅。光源为 300W 的白炽灯和 1 000W 的卤钨灯,灯外套有循环冷却水用的玻璃罩。光照度的测定用西德产的 Gossen 照度计。植物叶绿素的测定是采用快速测定法,即 DMSO 离析法,其溶剂为二甲基亚砜[4]。

供试植物采自水生生物研究所鱼池,植物采回后选取长势均匀的侧枝,剪其顶端一段(即顶枝),除去附着物,洗净,吸去植株表面上的水份,称取 0.5 克鲜重植物,放入试验瓶内,灌满培养液,然后在暗室内进行光照,光照结束后,用碘量法测定培养液的溶氧量,或从自动平衡记录仪的记录纸上算出培养液的溶氧量,进而计算出 0.5 克鲜重植物在单位时间内的生产力。

* 本文是作者在中国科学院水生生物研究所工作期间的研究报告。张晓燕同志参加了实验室工作,特此致谢。
1987 年 4 月 23 日收到。

试 验 结 果

（一）水温对生产力的影响

试验在低温季节（1—2 月）进行，水温 0.7—40℃，光照度为 8 000lx（0.7℃的试验是在室外雪地上进行的，当时太阳光照度在 8 000—20 000lx），培养液用东湖自来水，试验时间为 2 小时，每次试验为 4 组 12 瓶，采用碘量法测氧，取其平均值（图 1）。通过统计分析，得出温度对菹草的光合作用和呼吸作用都有明显的影响，水温与毛产量和净产量均呈曲线相关，水温与呼吸量呈直线相关，它们之间的关系方程式为：

水温与毛产量（P_G）：$y = 0.1547 + 0.0594x - 0.0015x^2$

水温与净产量（P_N）：$y = 0.0170 + 0.0477x - 0.0015x^2$

水温与呼吸量（Respiration）：$y = 0.171 + 0.0084x$

此处 y 代表光合作用和呼吸作用过程中，每 0.5 克鲜重植物在 2 小时内所产生或消耗的毫克氧量（毫克氧 · 2 小时/0.5 克鲜重植物）。 x 代表水温。从图 1 中可看到，在 0.7℃ 时的毛产量为 0.20 毫克氧 · 2 小时/0.5 克，净产量为 0.08 毫克氧 · 2 小时/0.5 克，然后随着水温的上升，生产力随之增大，水温 21℃ 时的生产力最高。此后随着水温的升高，生产力则呈下降趋势，在水温 35℃ 和 40℃ 时，虽然毛产量分别为 0.34 毫克氧 · 2 小时/0.5 克和 0.05 毫克氧 · 2 小时/0.5 克，但呼吸量分别达 0.38 毫克氧 · 2 小时/0.5 克和 0.54 毫克氧 · 2 小时/0.5 克，故净产量呈负值。根据作者的调查和有关资料的报道[1,2,5,6]，

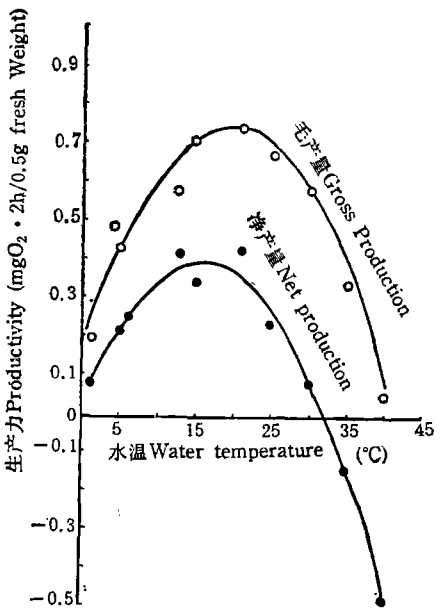


图 1　水温与菹草生产力的关系

Fig. 1　Relation between water temperature and productivity of *Potamogeton crispus*

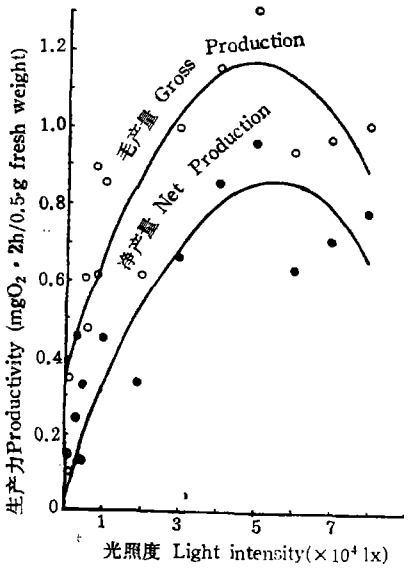


图 2　光照度与菹草生产力的关系

Fig. 2　Relation between light intensity and productivity of *Potamogeton crispus*

菹草在温带地区能越冬生长，生长旺季在 3—5 月，此时水温为 15—20℃ 左右，与本试验所得结果基本一致。

（二）光照度对生产力的影响

在水温为 20℃ 和培养液为东湖自来水的条件下，采用碘量法，测得光照度在 100—80 000lx 范围内的生产力（图 2）。可以看出，光照度对生产力有明显的影响，它们之间的关系方程式为：

光照度与毛产量：$y = 0.3268 + 0.3316x - 0.0327x^2$

光照度与净产量：$y = 0.0296 + 0.3067x - 0.0286x^2$

此处 y 代表氧量（毫克氧 · 2 小时/0.5 克鲜重植物），x 代表光照度（$\times 10^4$lx）。试验所得数据表明，在 5×10^4lx 光照度以下，生产力随光照度的增强而提高，在光照度为 5×10^4lx 时，毛产量和净产量均较高，分别为 1.32 毫克氧 · 2 小时/0.5 克和 0.98 毫克氧 · 2 小时/0.5 克。从图中的相关曲线来看，菹草生长的适宜光照度为 $4—6 \times 10^4$lx。从表 1 也可看出，利用铂金电极自动测氧法所得的试验资料，同样表明在光照度 $0.1—5 \times 10^4$lx 的范围内，净产量随光照度的增强而提高。

表 1 光照度对菹草净产量的影响

（水温 28℃，2 号培养液）

Tab. 1 Effect of light intensity on net production of *Potamogeton crispus* (water temperature being 28℃, with No. 2 culture solution)

光照度（$\times 10^4$lx） Light intensity ($\times 10^4$lx)	净产量（毫克氧·小时/0.5 克鲜重植物） Net production ($mgO_2 \cdot h/0.5g$ fresh weight)	测定次数 Number of determination
5	1.45	6
3	1.41	6
1	1.03	6
0.5	0.68	6
0.3	0.48	2
0.25	0.21	3
0.1	0.05	3

（三）水的 pH 值对生产力的影响

培养液为经过 pH 调节的东湖湖水，pH 值从 3 到 12。pH 的调节系用 HCl 和 NaOH，用酸度计进行测定，试验时间分别为 4 天和 18 小时。培养缸置于室内窗口，每缸放菹草 3 株。培养结束后将植株取出，称取顶枝 0.5 克，放入黑白瓶内，在中性培养液中进行光照试验，测定其生产力结果见表 2。从培养 4 天后的测定数据来看，以中性水质的生产力为高，在 pH4 以下和 pH11 以上时，净生产量则为负值，植株也呈现出软化和死亡现象，但从培养 18 小时后的测定数据来看，则以酸性水质中的生产力为高，碱性水质中的为低，在 pH11 时的净产量为负值。

两次试验的结果表明，菹草对水质的要求以中性或中性略偏酸为宜。在极短时间内

表 2　pH 对菹草生产力的影响
（水温 20℃，光强度 8 000lx）

Tab. 2　Effect of pH on productivity of *Potamogeton crispus*
(water temperature being 20℃, light intensity being 8 000 lx)

测定时间 Determination time / 生产力 Productivity / pH	4 天后测定值 After 4 days			18 小时后测定值 After 18 hours		
	毫克氧·2 小时/0.5 克 $mgO_2 \cdot 2h/0.5g$			毫克氧·2 小时/0.5 克 $mgO_2 \cdot 2h/0.5g$		
	毛产量 Gross	净产量 Net	呼吸量 Respiration	毛产量 Gross	净产量 Net	呼吸量 Respiration
3	0	−0.19	0.19	2.32	1.72	0.60
4	0.31	−0.27	0.58	2.54	2.03	0.51
5	0.82	0.04	0.78	2.42	1.92	0.50
6	1.65	0.78	0.87	2.34	1.84	0.50
7	—	—	—	1.80	1.26	0.54
8	1.09	0.37	0.72	1.26	0.63	0.63
9	—	—	—	1.44	0.78	0.66
10	0.62	0.08	0.54	1.01	0.32	0.69
11	−0.14	−0.49	0.35	0.26	−0.33	0.59
12	−0.29	−0.41	0.14	0.02	−0.39	0.41

的急性酸中毒，可能对生产力影响不大，而急性碱中毒则有明显的不良影响。

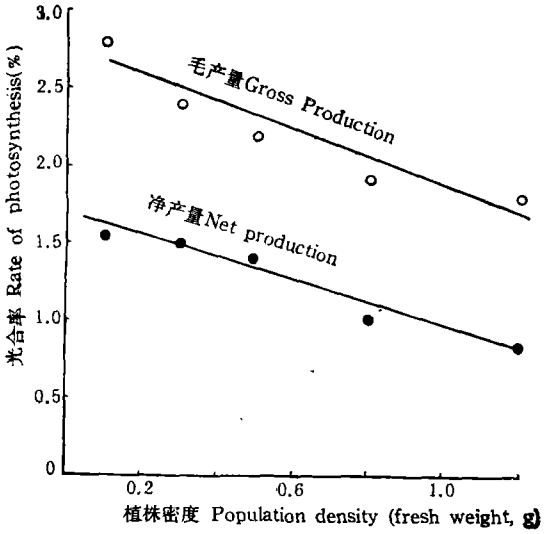


图 3　菹草植株密度与生产力的关系

Fig. 3　Relation between population density and productivity of *Potamogeton crispus*

（四）植株密度对生产力的影响

本试验瓶内植株的密度是以重量(克)为计算单位。在 260 毫升的试验瓶内，分别放入鲜重为 0.1 克、0.3 克、0.5 克、0.8 克和 1.2 克的菹草顶枝，在水温为 20℃、光照度为 8 000 lx、培养液为东湖湖水的条件下，经 2 小时光照试验，用碘量法测氧，结果如图 3。在 0.1 克时，2 小时的净光合率为 1.54%，1.2 克时则降为 0.85%。根据 Haniffa 等的试验，植物的生产量随植株密度的增大而减少[3]，本试验结果与其结论相符。

（五）植株不同部位的生产力比较

为测定植株不同部位的生产力，选取侧枝的顶端部分(顶枝)、主茎的中间部分(中枝)、和侧枝生长后期形成的特殊生殖芽体(殖芽)，应用碘量法对它们进行了 8 次比较试验(表 3)，试验表明，毛产量、净产量和呼吸量均以顶枝为高，殖芽为低。若用比值加以比较，取顶枝为 1 计算，则顶枝：中枝：殖芽的比值，其毛产量为 1:0.7:0.13，净产量为1:0.58:0.29，

表 3 菹草植株不同部位的生产力比较

Tab. 3 Comparison of productivity at different parts of *Potamogeton crispus*

植株部位 Part of plant	毫克氧·2 小时/0.5 克鲜重植物 $mgO_2 \cdot 2h/0.5g$ fresh weight		
	毛产量 P_G	净产量 P_N	呼吸量 Respiration
顶枝 Apical	1.646	0.616	1.030
中枝 Middle	1.168	0.356	0.812
生殖芽体 Generative gemma	0.214	0.178	0.036

表 4 菹草植株不同部位的叶绿素含量

Tab. 4 Chlorophyll content at different parts of *Potamogeton crispus*

植株部位 Part of Plant		叶绿素含量（毫克/克） Chlorophyll content (mg/g)			叶绿素 a/叶绿素 b
		叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	叶绿素 a+b Chlorophyll a+b	Chl. a/Chl. b
叶 Leaf	顶枝 Upper	0.58	0.32	0.90	1.81
	中枝 Middle	0.72	0.42	1.14	1.71
	下枝 Lower	0.77	0.41	1.18	1.88
茎 Stem	顶枝 Upper	0.08	0.04	0.12	2.00
	中枝 Middle	0.10	0.06	0.16	1.67
	下枝 Lower	0.07	0.05	0.12	1.40

呼吸量为 1:0.79:0.03。顶枝是植株的新生枝叶，叶片较多，处在生长盛期。中枝的叶片较少，枝叶生长不如顶枝旺盛。殖芽是刚从植株上摘下来的，它是顶枝上的茎缩短和叶片变厚而成，是特殊的生殖芽体，因其将进入休眠时期，故生产力低。

从表 3 所列 0.5 克植株的生产量来看，顶枝高于中枝，但从表 4 所列 0.5 克植株的叶绿素含量来看，无论是叶和茎的叶绿素含量，顶枝均小于中枝和下枝。从表 5 中的数据还可以看到，顶枝上叶片的叶绿素含量是随着年龄的增大而增加。顶枝是叶片密集的枝条，顶枝的重量主要是叶片的重量。中枝上的叶片数不多，中枝的重量主要是茎的重量。测定数据表明，9 株株长为 75 厘米的菹草，其顶枝上的叶片数为中枝的 5 倍以上，即顶枝比中枝具有更大的光合作用叶面积。表 5 中所列的叶绿素含量数据又表明，叶片的叶绿素含量比茎的叶绿素含量要大得多。因此，顶枝的生产力比中枝和下枝的生产力都高。

表 5　菹草顶枝不同年龄叶片的叶绿素含量

Tab. 5　Chlorophyll content in different ages of leaves on the top branches of *Potamogeton crispus*

叶片年龄* Age of leaves	叶绿素含量（毫克/克） Chlorophyll content (mg/g)			叶绿素 a/叶绿素 b Chla/Chlb
	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	叶绿素 a＋b Chlorophyll a＋b	
A	0.90	0.46	1.36	1.96
B	0.92	0.50	1.42	1.84
C	0.94	0.51	1.45	1.84
D	0.94	0.52	1.46	1.81
E	1.03	0.59	1.62	1.75

* 菹草顶枝长 10 厘米，分为 5 个年龄组，A 代表最年青的叶片，B、C、D、E 依次分别代表年龄逐渐增长的叶片。

The top branches of *Potamogeton crispus* are 10 cm in length, they are divided into five degrees of different ages. A for the youngest leaves, B, C, D, E for the progressively ageing leaves.

讨　　论

室内试验表明、影响菹草生产力的因素是多方面的：不同的水温和光照度对生产力的影响很大；植株不同部位由于叶绿素含量和年龄的不同，其生产力也有差异；不同的植株密度又有不同的生产力；加上实验时光照时间的长短等因素的影响，往往使生产力测定值产生较大的差异。因此，在比较菹草等沉水植物生产力时，要特别注意分析比较其试验条件。在比较生产力时，以取叶片测定为宜。尽管如此，通过所做的许多试验，看出菹草生长的适宜光照度为 4—6 × 10^4lx，适宜水温为 15—20℃ 左右。

将 7 批试验 51 次的测定数据汇总起来（表 6），在光照度为 8 000lx，水温为 20—28℃ 的实验条件下，菹草的平均生产力（毫克氧·小时/0.5 克鲜重植物）如下：毛产量在 0.80—1.06 范围，平均为 0.92；净产量在 0.44—0.79 范围，平均为 0.61；呼吸量在 0.22—0.39 范围，平均为 0.31。净产量约占毛产量的 2/3，净产量/呼吸量的系数为 2。按植株重量的增长或减少来计算，其 1 小时的平均净光合率为 1.11%，1 小时的平均呼吸率为

表6 眼子菜生产力汇总表

Tab. 6 A summary table of productivity of *Potamogeton crispus*

测定日期 Date of determination	水温(℃) Water temperature (℃)	培养液 Culture solution	测定方法 Method of Determination	测定次数 Number of determination	毫克氧·小时/0.5克 $mgO_2 \cdot h/0.5g$			1小时光合率(%) Rate of photosynthesis an hour (%)	1小时呼吸率(%) Rate of respiration an hour (%)
					毛产量 Gross	呼吸量 Net	呼吸量 Respiration		
1981.11	20	东湖自来水	碘量法	7	0.99	0.62	0.37	0.96	0.53
1982.5—6	28	东湖自来水	碘量法	7	1.02	0.79	0.23	—	—
1981.6—7	27—29	东湖自来水	碘量法	6	0.81	0.52	0.29	—	—
1981.10—11	28	加 Na_2HCO_3 2号液	铂金电极	16	0.86	0.64	0.22	1.57	0.54
1981.11	28	东湖自来水	铂金电极	6	1.06	0.67	0.39	1.04	0.53
1981.5	25—28	1号液	铂金电极	4	—	0.68	—	1.35	—
1982—83	20—34	东湖自来水	碘量法	5	0.80	0.44	0.36	0.66	0.53
平均值 Average value					0.92	0.61	0.31	1.12	0.53

0.53%。

在测定菹草生产力的同时，对其他 10 种沉水植物的生产力也进行了测定，结果表明，水车前、菹草、马来眼子菜、黑藻和黄丝草的生产力较高；而聚草、金鱼藻、苦草、小茨藻、大茨藻和黄花狸藻的生产力均低于菹草。关于沉水植物生产力的测定值，将另文报道。

通过对菹草生活史、生物量和断枝无性繁殖的调查试验，及其生产力的测定和有关生态学其他方面的研究，进一步认识到菹草具有较强的生命力和较高的生产力，它又是冬春季节的主要沉水植物，因此对其资源的利用问题，应给予一定的重视。除将菹草作为草鱼、鸭和猪的青饲料外，还可作为冬季温热水养蟳蟹的补充饲料，甚至作为污水水域中的净化用植物。

参　考　文　献

[1] 陈洪达，1985。菹草的生活史、生物量和断枝的无性繁殖。水生生物学报，9(1)：32—39。

[2] 大滝末男、石忠户，1980。日本水生植物图谱。北隆館。

[3] Haniffa, M. A. and Pandian, T. J., 1978. Morphometry, primary productivity and energy flow in a tropical pond. *Hydrobiologia*, **59**(1): 23—48.

[4] Hiscox, J. D. and Israelstam, G. F., 1979. A method for extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.*, **57**: 1332—1334.

[5] Rogers, K. H. and Breen, C. M., 1981. Turion formation,dormancy and germination of curly pondweed: *Potamogeton crispus* L. *Aquatic Botany*, **10**: 161—173.

[6] ————, 1982. Decomposition of *Potamogeton crispus* L.: the effects of drying on the pattern of mess and nutrient loss. *Aquatic Botany*, **12**: 1—12.

STUDIES ON PRODUCTIVITY OF *POTAMOGETON CRISPUS* L

Chen Hongda

(*Hubei Fisheries Science Research Institute, Wuhan*)

Abstract

Experimental results in relation to the effects of water temperature, light intensity, pH and population density on productivity of *Potamogeton crispus*, with the estimations of the productivity and the chlorophyll content in different parts of this species are reported here in.

Under light intensity of 8000 lx and water temperature of 22—28°C, the gross production of the apical portion of *Potamogeton crispus* varies from 0.08 to 1.06 $mgO_2 \cdot h/0.5\,g$ fresh weight, with an average of 0.92 $mgO_2 \cdot h/0.5\,g$; net production ranges 0.44—0.79 $mgO_2 \cdot h/0.5\,g$, 0.61 $mgO_2 \cdot h/0.5\,g$ in average. The mean photosynthetic rate is 1.11% and the mean respiration rate is 0.53% per hour.

Key words *Potamogeton crispus*, Productivity, Photosynthesis