

除草剂对水生植物的生理生态效应

吴晓霞¹, 吴进才^{2*}, 金银根¹, 董 波², 王荣生²

(1. 扬州大学生物科学与技术学院, 扬州 225009; 2. 扬州大学农学院, 扬州 225009)

摘要: 首先研究了常用除草剂对水生植物的生理生态效应。结果表明在 12 种除草剂中, 乙草胺、丁草胺、艾割对紫萍 (*Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid)、金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*) 生长影响显著。其后进行的丁草胺对金鱼藻生物量及生理生化影响研究表明: 金鱼藻生物量(干重)随丁草胺浓度的升高显著下降, 处理后 16d, 两者呈显著的负相关。丁草胺处理后金鱼藻光合放氧速率明显下降, 至 16 d, 2、4、6、8 mg/L 处理分别比对照减少 36.02%、41.64%、42.74% 和 48.43%; 呼吸耗氧速率亦显著下降, 4、6、8 mg/L 处理分别比对照下降 25.87%、66.64%、67.94%。呼吸耗氧速率的改变与丁草胺浓度呈极显著的负相关; 丁草胺处理后金鱼藻叶绿素含量显著下降。谷胱甘肽-S-转移酶(GSTs)的变化也与丁草胺处理浓度有关, 低浓度(1 mg/L)呈现先高后低, 至 16 d 显著低于对照, 高浓度(8 mg/L)为先低后逐渐恢复。除草剂对水生植物的影响有可能影响整个水生生态系的功能。

关键词: 除草剂; 紫萍; 金鱼藻; 生理生态; 影响

Impact of herbicides on physiology and ecology of hydrophytes

WU Xiao-Xia¹, WU Jin-Cai^{*2}, JIN Yin-Gen¹, DONG Bo², WANG Rong-Sheng² (1. *Biology Science and Technology College, Yangzhou University Yangzhou 225009, China*; 2. *Agricultural College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 2037~2042.

Abstract: The use of herbicides in China has increased faster than that of insecticides and fungicides since late 1980's. Herbicide application has covered almost all habitats, including crop fields, orchards, forests, parks and natural water body. Such a large-scale application might have transferred herbicide residues into aquatic ecosystems, resulting in disfunction of hydrophytes as primary producers in energy flow. This study was conducted to investigate the effect of 12 herbicides (i. e. acetochlor, butachlor, metribuzin, fuazifop-P-butyl, isoprotuin, benazolin-ethyl, MCPA, quinclorac, fenoxaprop-P-ethyl, 2, 4-D, fluroxypyr, and cinmethylin) on the growth and development of two hydrophytes, *Ceratophyllum demersum* and *Spirodela polyrrhiza* (L.) *Schleid*, which were collected from natural water body in suburbs of Yangzhou City, and to determine changes in chlorophyll content, photosynthetic rate, respiratory rate and glutathione-S-transferase (GST) of *C. demersum* in response to treatment of water body with butachlor at five different concentrations.

The results showed that acetochlor, butachlor and cinmethylin significantly suppressed the growth and development of *C. demersum* and *S. polyrrhiza* (L.) *Schleid*. The biomass (dried weight) of *C. demersum* under the laboratory condition of controlled temperature and illumination decreased with increasing butachlor concentrations at 12 days after treatment (DAT), though at 5 DAT and 10 DAT, the biomass did not change significantly, as compared to the control (untreated). At 16 DAT, even significant negative correlation was shown between the dried weight of *C. demersum* and butachlor concentration, fitting to the regression equation: $Y = 0.6638 - 0.03347X$ ($r = -0.9167$). The photosynthetic experiment demonstrated that the oxygen emitting rate of *C. demersum* following butachlor treatment declined significantly while the rate of the untreated control was relatively constant during test periods. At 16 DAT, the oxygen emitting rate of the samples treated with 2, 4, 6, 8 mg/L

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30170162)

收稿日期: 2003-11-23; **修订日期:** 2004-07-15

作者简介: 吴晓霞 (1967~), 江苏大丰人, 博士生, 从事植物生理学研究。E-mail: wxs1995@sina.com.cn

*** 通讯作者** Author for correspondence. E-mail: jc_wu@public.yz.js.cn

Foundation item: The National Natural Science Foundation of China (No. 30170162)

Received date: 2003-11-23; **Accepted date:** 2004-07-15

Biography: WU Xiao-Xia, Ph.D. candidate, mainly engaged in plant physiology. E-mail: wxs1995@sina.com.cn

of butachlor reduced by 36.02, 41.64, 42.74 and 48.43% in comparison to the control, respectively. The oxygen emitting rate of *C. demersum* was negatively correlated with the concentration of butachlor treatment ($r = -0.879$). The oxygen consumption rate of *C. demersum* subjected to treatment at 4, 6 and 8 mg/L of butachlor also decreased by 25.87, 66.64 and 67.94% at 10 DAT, as compared to the control. Furthermore, the treatment of butachlor influenced other two physiological indexes of the hydrophyte as well. The chlorophyll content of *C. demersum* tended to decrease with increased butachlor concentration at 12, 14 and 16 DAT. The glutathione-S-transferase (GST) activity of *C. demersum* following the herbicide treatment varied with butachlor concentration. At a high concentration (8 mg/L), the GST activity was minimized at 5 DAT and then gradually recovered to a normal level at 12 DAT; at a low concentration (1 mg/L), the activity was significantly higher than that of the control and those of the samples treated with higher concentrations at 5 and 10 DAT, but significantly lower than that of control at 16 DAT. Since the GST is a detoxification enzyme, a butachlor-caused low activity indicates that the herbicide treatment can reduce the function of detoxification in *C. demersum*.

Key words: Herbicide; *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid; *Ceratophyllum demersum*; physiology and ecology; impact
文章编号:1000-0933(2004)09-2037-06 中图分类号:Q945.79,X592 文献标识码:A

发达国家自 20 世纪 70 年代初,我国自 20 世纪 80 年代中后期以来,除草剂的使用面积大幅度地增长,其增长速度居农药家族(杀虫剂、杀菌剂、除草剂)之首。应用范围除农田外,已扩展到几乎所有的生境,由此产生的生态效应已引起发达国家的重视,尤其是各类生境中除草剂的使用汇集到水体中对水生生态系的影响值得研究。例如,有研究表明 50 $\mu\text{g/L}$ 的利谷隆处理区的群落中优势种由大型水生植物变成藻类^[1];三嗪类除草剂(阿特拉津和噻草酮)对水生植物的毒性比乙酰替苯胺(拉索和稻乐思)显著高^[2];大型水生植物对除草剂更敏感,尤其是根的生长,绝大多数除草剂抑制根和茎生长的 LC_{25} 和 LC_{50} 浓度在 EEC 以下,有些情况比鱼、浮游动物及其它无脊椎动物更敏感^[3],这表明由于水生植物的高度敏感性和生态上的重要性,生态毒理研究重点应放在评价水生植物毒性上。

本研究以常用的除草剂种类为主,兼顾一些虽然使用较少但在土壤中及水体中持效期较长、不易分解的 12 种除草剂对水体中分布较为广泛的金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)和紫萍(*Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid)进行了研究,首先在 2002 年进行了 12 种常用除草剂对两类水生植物生长发育影响的初步试验,然后选择对这两类水生植物生物量影响显著的除草剂丁草胺,于 2003 年 7~9 月进行了金鱼藻生理生态影响的研究。

1 材料与方法

1.1 水生植物的采集与培养

金鱼藻和紫萍取自扬州市郊区、两岸皆是农田的自然流水环境中,为随机取样,样品取回后静水(自来水静置 1~2 d)浸泡培养,2~3 d 换水 1 次,小心去除样品中的其他水生生物及样品表面沾附的污泥。选取生长期近似的金鱼藻 10 g 和紫萍(叶片数 160),分别于 10 L 培养容器内适应性培养 3 d,进行不同浓度的除草剂处理,每个浓度设置 3 个重复,及时补水以保证水中除草剂浓度的恒定。整个实验于 7~9 月阳光充足的室内近窗口处自然条件下进行。

1.2 预实验中除草剂初浓度的设计

以各类除草剂的一般商品用剂量为基线,下浮 10 倍为测试浓度剂量(见表 1)。

1.3 生物量变化的测定

金鱼藻鲜重计量:取除草剂处理后不同天数的植株,吸水纸吸干水分后,于感量 1/10000 电子天平称重并记录。干重计量:取样品于烘箱中烘干(105 C 15 min 杀青,70~80 C 烘至恒重),称量干重值。浮萍生物量的测定以其小叶数的变化计量。

1.4 光合、呼吸速率的测定

参照邹琦方法进行^[4]。准确称取 0.1 g 金鱼藻叶片,剪碎,置于反应杯中,加入 50 mmol/L NaHCO_3 1.5 ml,在 Oxygraph 氧电极上测定并计算光合放氧、呼吸耗氧速率。

1.5 叶绿素含量测定

采用 Arnon 法^[5]测定。

1.6 谷胱甘肽硫转移酶(GST)活性测定

依据 John W. Gronwald 方法并稍作调整^[6]。

(1)粗酶液的提取 取 0.3 g 样品,加入 5 ml 酶提取液(0.1 mmol/L, pH6.5 磷酸缓冲液,5 g/100 ml 聚乙烯吡咯烷酮,1.0 mmol/L 乙二胺四乙酸),研磨离心,取上清液于 -20 C 保存备用。

(2)GST 测定方法 取粗酶液 0.1 ml,加入一定量的 CDNB(2,4-二硝基氯化苯)和 pH6.5,磷酸缓冲液,使 CDNB 的终浓

度为 1 mmol/L,在 25℃条件下温育,加入 GSH(使终浓度为 1 mmol/L),总反应液体积为 1 ml,迅速在紫外分光光度计上于 340 nm 下记录 5 min 内吸光度的变化值。依照以下公式计算酶活力:

$$GSTs(mU/ml)=(\Delta OD_{340}/0.0096)\times \text{酶的稀释倍数}$$

式中,ΔOD340 为每分钟光吸收的变化值。

表 1 除草剂处理对浮萍生长的影响

Table 1 Effect of herbicides on growth of <i>Spirodela polyrhiza</i> (L.) Schleid											
除草剂 Herbicide & concentration (mg/L)	日期 Date										
	06-27	07-02	07-05	07-08	07-11	07-14	07-19	07-23	07-27	07-30	08-03
对照 Control(0)	160	190	248	311	370	392	389	449	490	497	468
乙草胺 Acetochlor(0.01)	160	147	145	137	121	66	0	0	0	0	0
丁草胺 Butachlor(0.023)	160	119	127	130	99	65	0	0	0	0	0
噻草酮 Metribuzin(0.0167)	160	175	214	242	286	278	185	216	262	242	162
精稳杀得 Fluazifop-P-butyl(0.003)	160	146	168	183	233	虫吃	/	/	/	/	/
异丙隆 Isoprotuion(0.0167)	160	117	143	145	195	215	229	241	212	171	182
高特克 Benazolin-ethyl(0.0003)	160	184	208	265	304	330	306	333	327	238	230
二甲四氯 MCPA(0.02)	160	143	206	247	280	285	264	266	285	224	213
二氯喹啉酸 Quinclorac(0.0067)	160	165	181	195	167	118	117	120	116	131	112
骠马 Fenoxaprop-P-ethyl(0.00115)	160	115	127	164	182	184	199	191	175	166	145
2,4-D 丁酯 2,4-D(0.01)	160	140	210	253	262	263	242	265	243	242	224
使它隆 Fluroxypyr(0.005)	160	165	190	226	265	266	335	300	389	343	354
艾割 Cinmethylin(0.00067)	160	146	149	171	160	191	67	27	15	0	0

* 表中数据为平均叶片数/10 L 水(3 次重复),7 月 19 日转入清水中培养 Data in table are mean leaf numbers of *S. polyrhiza* per 10 L water with three replicates; it was transferred to be cultured in water (no-herbicide) in July 19

2 结果与分析

2.1 12 种除草剂对紫萍和金鱼藻的生物量的影响

12 种除草剂对金鱼藻和紫萍两类水生植物的处理结果表明(表 1,表 2),乙草胺、丁草胺两种酰胺类除草剂对紫萍的生长有较大的影响,导致紫萍新生叶数目减少或基本无增加趋势,而老叶不断死亡,总叶片数减少较快;金鱼藻的鲜重在这两类酰胺类药物作用下也下降显著。艾割对两类植物的生长也有一定的抑制作用。高特克和噻草酮在低剂量下对两类植物的生长有一定的促进作用,其它各类除草剂的影响不明显。

表 2 除草剂对金鱼藻的影响

Table 2 Effect of herbicides on growth of <i>Ceratophyllum demersum</i>												
除草剂 Herbicide & concentration (mg/L)	日期 Date											
	06-27	07-02	07-05	07-08	07-11	07-14	07-19	07-23	07-27	07-30	08-03	08-08
对照 Control(0)	10	12.2	13.7	13.7	12.7	14.2	15.3	14.8	13.6	17.7	17	17.1
乙草胺 Acetochlor(0.01)	10	9	8.3	7.4	7.0	6.9	6	6	6.1	7	9.3	11.2
丁草胺 Butachlor(0.023)	10	8.2	7.5	5.75	5.3	4	4	3	3.2	2.9	1.9	1.8
噻草酮 Metribuzin(0.0167)	10	13	15	14	15.4	16.8	19	18.2	17.0	15.7	13.2	11.9
精稳杀得 Fluazifop-P-butyl(0.003)	10	10.5	11.2	10.6	13	11	9.4	8.5	10.5	10.3	9.9	9.7
异丙隆 Isoprotuion(0.0167)	10	14	13.7	14	15.1	15.6	15.5	15.2	15.6	15.2	13.1	14.7
高特克 Benazolin-ethyl(0.0003)	10	13	14	13.1	12.5	13.6	16.5	15.9	15.4	16.2	13.8	14.9
二甲四氯 MCPA(0.02)	10	13	13.9	12.5	14	14.3	14	14.3	14.5	14.5	12.9	12.6
二氯喹啉酸 Quinclorac(0.0067)	10	11.2	12.9	12.6	13.2	12	13.1	12.7	12.5	12.5	9.8	9
骠马 Fenoxaprop-P-ethyl(0.00115)	10	10	11.2	10.9	12	12.2	13.4	12.7	12.3	14	10.4	10.1
2,4-D 丁酯(0.01)	10	10	9.8	8.4	9.8	10.3	11.6	12.8	12.5	11.5	11.6	10.4
使它隆 Fluroxypyr(0.005)	10	9.8	9.6	8.4	9.2	8.6	9	9.2	10.9	10.5	9	9
艾割 Cinmethylin(0.00067)	10	10	10	9	8.6	6.5	7.2	5.7	8.5	10.7	9.7	11.4

* 表中数据为平均鲜重 g/10 L 水(3 次重复),7 月 19 日转入清水中培养 Data in table are mean fresh weight (g) of *C. demersum* per 10 L water with three replicates; it was transferred to be cultured in untreated water (no-herbicide) in July 19

当将各处理数据压力去除后,大部分样方内均能正常生长,药剂处理中受影响较大的艾割和乙草胺处理容器中的金鱼藻也能很快恢复正常生长,鲜重量转为上升趋势,而丁草胺处理中的金鱼藻则恢复性较差;紫萍在乙草胺、丁草胺及艾割处理中的

恢复性均较差,以致于最终植株完全死亡。表明丁草胺等这几类除草剂对作用物存在着一定的后效作用。

另外,通过不定期形态学观察亦表明:乙草胺、丁草胺及艾割对植株的幼叶和嫩芽的生长影响明显,金鱼藻在这 3 类处理中的嫩芽均显著变小;使它隆、2-甲 4-氯、2,4-D 等引起金鱼藻的叶片反卷,程度不等,但短期试验中未看出对正常生长量的影响。

2.2 丁草胺对金鱼藻生物量及有关生理活性的影响

2.2.1 干重的变化 在室内控温、控光等条件下以不同浓度的丁草胺对金鱼藻进行处理,结果表明处理后 5、10 d 各浓度和对照间金鱼藻干重无显著差异。随着处理天数的增加,金鱼藻的干重发生明显的变化,随着处理浓度的升高,干重显著下降,12 d 各处理浓度间差异显著($F=3.46>F_{0.05}=3.11;df=5,12;P<0.05$),14 d 和 16 d 差异达到极显著水平($F=5.17>F_{0.01}=5.06;df=5,12;P<0.01$), $F=6.52>F_{0.01}=5.06,df=5,12;P<0.01$)。16 d 时干重与各处理浓度呈显著的负相关 $Y=0.6638-0.3347X, r=-0.9167$,随丁草胺浓度的提高金鱼藻干重呈线性下降。表明一定浓度的丁草胺对金鱼藻的生长有着明显的抑制作用(表 3)。

表 3 丁草胺处理对金鱼藻干重(g)的影响

Table 3 Effect of butachlor on dried weight of <i>C. demersum</i>						
处理浓度(mg/L)	处理前	处理后天数 Days after treatment(d)*				
Treatment concentration	Prior to treatment	5	10	12	14	16
0	0.52	0.52±0.05a	0.51±0.01a	0.52±0.04abA	0.56±0.05Aa	0.73±0.09aA
1	0.52	0.50±0.02a	0.46±0.03a	0.48±0.04bA	0.53±0.06aA	0.57±0.06abAB
2	0.52	0.55±0.01a	0.54±0.01a	0.57±0.03aA	0.51±0.04aA	0.60±0.05bABC
4	0.52	0.56±0.06a	0.45±0.09a	0.57±0.03aA	0.52±0.06aA	0.51±0.05cdB
6	0.52	0.53±0.01a	0.44±0.03a	0.49±0.03bA	0.39±0.02cB	0.44±0.12cdB
8	0.52	0.55±0.07a	0.49±0.06a	0.46±0.02bB	0.47±0.03bA	0.43±0.08dB

* 表中数据为 3 次重复平均重 g/10 L;平均数后跟有不同的小写字母和大写字母表示有显著和极显著差异 Data in table are means of three replicates; Means followed different little and capital letters show that there are significant differences at 5 % and 1 % levels, respectively

2.2.2 丁草胺不同浓度处理对金鱼藻光合放氧速率的影响

由图 1 可见,对照中的金鱼藻,光合放氧速率上下波动但变化幅度不大。丁草胺处理后光合放氧速率呈明显下降趋势,到第 16 天,不同浓度处理间差异显著($F=4.38>F_{0.05}=3.11;df=5,12;P<0.05$)。平均数的多重比较表明对照的光合放氧速率显著大于 2、4、6、8 mg/L 处理,后者分别比对照减少 36.02%、41.64%、42.74%、48.43%。光合放氧速率与丁草胺浓度呈显著的负相关($r=-0.8690$),回归方程为: $Y=9.5559-0.578X$ 。

2.2.3 丁草胺不同浓度处理对金鱼藻呼吸耗氧的影响 与光合放氧相似,丁草胺处理后金鱼藻呼吸耗氧速率呈明显下降趋势。处理后 10 d (图 2)方差分析显示极显著($F=13.35>F_{0.01}=5.06;df=5,12;P<0.01$)。平均数的多重比较表明对照的呼吸耗氧速率显著大于 4、6、8 mg/L 处理,后者分别比对照减少 25.87%、66.64%、67.94%。呼吸耗氧速率与丁草胺浓度呈极显著的负相关($r=-0.9631$),回归方程为: $Y=22.8494-2.0822X$ 。

2.2.4 不同浓度丁草胺处理下金鱼藻的叶绿素含量的变化 金鱼藻的叶绿素含量,随着处理浓度的升高显著下降(表 4),处理后 12 d 各处理浓度间差异显著($F=3.14>F_{0.05}=3.11;df=5,12;P<0.05$),处理后 14、16 d 差异达极显著水平($F=10.19>F_{0.01}=5.06;df=5,12;P<0.01$)、($F=7.04>F_{0.01}=5.06;df=5,12;P<0.01$)。

2.2.5 不同浓度丁草胺处理后金鱼藻体内 GST 活性的变化 丁草胺处理对金鱼藻体内 GST 活性的影响主要表现在变化趋势上。对照组 GST 活性随时间延长,呈稳步上升趋势(表 5),GST 活性与培养天数呈显著的正相关($r=0.9192$)其回归方程为: $Y=0.9474X-15.5115$ 。而丁草胺不同浓度处理 GST 的变化与处理浓度有关,高浓度(8 mg/L)总体呈现先抑制而后逐步恢复,处理后 5 d, GST 活性最低,显著低于 1 mg/L 处理;到第 16 天,显著高于 1 mg/L 处理。低浓度处理(1 mg/L)后 10 d, GST 显著高于对照;但到第 16 天则显著低于对照。方差分析表明处理后 16 d,处理间差异显著($F=3.66>F_{0.05}=3.01;df=5,12;P<0.05$)。表明低浓度处理后金鱼藻对毒性化合物有短暂的应急反应,促使 GST 升高,随着时间的推移植物受到伤害,GST 下降;而高浓度处理短期内植物受到伤害,以后逐渐恢复。

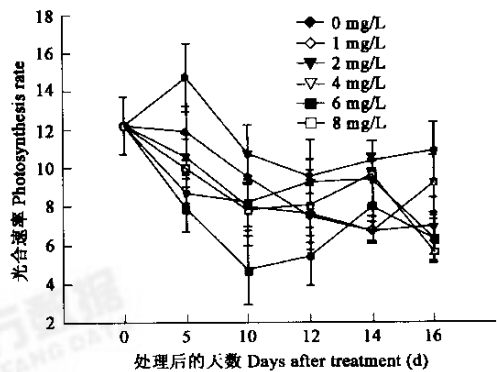


图 1 丁草胺不同浓度处理后金鱼藻光合放氧的变化值

Fig.1 Effects of butachlor treatment on photosynthesis rate($\mu\text{mol O}_2/(\text{g}\cdot\text{h})$) of *C. demersum*

表 4 不同浓度丁草胺处理后金鱼藻叶片内叶绿素含量的变化(mg/g 鲜重)

Table 4 Change of chlorophyll content (mg/g fresh weight) of <i>C. demersum</i> following butachlor treatment					
处理浓度(mg/L) Treatment concentration	处理后天数 Days after treatment (d) *				
	5	10	12	14	16
对照 Control(0)	6.14±0.99a	5.28±1.28a	5.63±0.76aA	5.26±0.42aA	5.31±0.84aA
1	7.17±0.43a	4.45±0.38a	2.96±2.60bcAB	3.82±0.61bAB	2.08±0.5dC
2	7.35±0.95a	4.16±1.65a	3.58±1.41abcAB	4.76±1.03abA	4.10±1.17abAB
4	6.27±0.89a	4.06±1.07a	4.48±0.51abAB	3.73±0.30bAB	3.72±0.50bcABC
6	7.86±0.29a	3.77±1.88a	1.69±1.25cB	2.27±0.30cB	2.66±0.61cdBC
8	6.76±1.74a	4.31±1.44a	1.87±1.49bcB	2.4±0.87cB	2.68±0.83cdBC

* 表中数据为 3 次重复平均;平均数后跟有不同的小写字母和大写字母表示有显著和极显著差异 Data in table are means of three replicates; Means followed different little and capital letters show that there are significant differences at 5 % and 1% levels, respectively

表 5 不同浓度丁草胺处理后金鱼藻的 GST 变化值(mU/6mg)

Table 5 Change of glutathione-S-transferase (GST) activity (mU/6mg) following butachlor treatment					
处理浓度(mg/L) Treatment concentration	处理后天数 Days after treatment (d) *				
	5	10	12	14	16
对照 Control(0)	21.64±3.62bcAB	22.26±1.12bA	27.41±4.31a	28.24±7.82a	32.01±6.33aA
1	32.13±4.75aA	32.31±4.35aA	21.09±8.95a	31.04±4.66a	16.72±0.31cB
2	26.61±3.38abcAB	18.64±1.37bB	20.89±11.41a	18.25±5.94a	21.16±7.59bcAB
4	31.13±6.48abAB	26.12±9.28abA	23.29±6.86a	24.20±8.26a	22.95±4.20bcAB
6	25.55±6.49abcAB	20.62±5.96bA	25.59±4.76a	30.7±13.19a	21.05±4.46bcAB
8	17.91±4.84cB	19.68±6.01bA	17.14±3.07a	21.57±5.79a	26.26±2.27abAB

* 表中数据为 3 次重复平均;平均数后跟有不同的小写字母和大写字母表示有显著和极显著差异 Data in table are means of three replicates; Means followed different little and capital letters show that there are significant differences at 5 % and 1% levels, respectively

3 讨论

丁草胺是我国除草剂中生产和使用量最大的品种,年使用量超过 $5 \times 10^3 \text{ t}$ ^[7],被广泛地用于水稻田防除 1 年生禾本科杂草、一些莎草科及某些阔叶杂草,已有的研究表明丁草胺不仅在土壤中具有明显的持留性^[8],而且对水生生物有较高的毒性^[9],丁草胺作为酰胺类除草剂,可以抑制植物的呼吸作用或作为电子传递链的抑制剂(抑制光合作用中的希尔反应)、解偶联剂而抑制植物的光合作用^[10]。本研究结果进一步证实了丁草胺对植物的光合和呼吸有明显的抑制作用,表明丁草胺对水生植物金鱼藻的生长发育生理生化具有显著的影响。

GST 是生物体内广泛存在的一类催化谷胱甘肽与多种疏水化合物的亲电子基团相连接的胞质酶,这种连接作用是生物体进行脱毒和排毒的重要方式^[11]。本文研究发现在低浓度丁草胺处理以及对对照情况下后,GST 活性表现升高趋势,随着时间的推移植物受到伤害,GST 活性逐渐下降;而高浓度处理短期内植物受到伤害,GST 活性迅速下降,并随着时间的推移呈逐渐恢复上升趋势,以上结果表明了金鱼藻体内的谷胱甘肽硫转移酶有效参与了对丁草胺的解毒过程,对金鱼藻在丁草胺作用下的生长起到了部分修复作用。

除草剂的开发和大面积推广是与精耕农业和效益农业相伴而生。欧美发达国家自 20 世纪 70 年代以来除草剂使用面积大幅度增长。美国和加拿大在过去 20 多年间,除草剂使用增加了 3~5 倍^[12]。中国 20 世纪 90 年代除草剂进入加速发展期,除草剂占 3 类农药的比例直线上升,由 1990 年的 6.8%上升到 1999 年的 20.89%。除草剂应用的栖境已从 20 世纪 80 年代前局部生境扩展到几乎所有生境。大量除草剂投入环境中,必然会通过各种途径进入自然水体中。据作者收集的 896 篇有关除草剂对水生生态系影响的英文文献统计,20 世纪 90 年代以前占文献的 23.84%,90 年代后占 76.16%,表明除草剂对水生生态系影响的研究已在发达国家受到重视。我国这方面的研究很少。在水生生态系中,植物是生产者,任何影响水生植物的因素均有可能影响整个水生生态系的功能。本研究结果表明一些除草剂(丁草胺、乙草胺、艾蒿)对大型水生植物(浮萍和金鱼藻)生长发育生理生

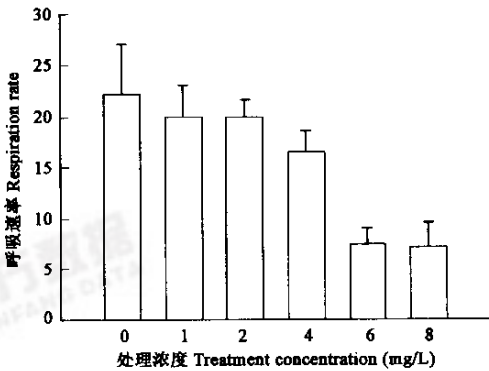


图 2 丁草胺不同浓度处理 10d 后金鱼藻呼吸耗氧的变化值
Fig. 2 Change of respiration rate ($\mu\text{mol O}_2/(\text{g} \cdot \text{h})$) of *C. demersum* after 10 days of butachlor treatment

化具有显著的影响。金鱼藻在全国各地自然水体中均有分布,是水生植物研究中较为常用的模式植物,也是一种较好的水生体,抗污染植物,或作为污染的指示生物物种。它还可作为鱼类的饲料。但近年来金鱼藻在许多地区河流中数量有减少趋势,分布区域越来越窄,农田除草剂的大量使用有可能是种群减少的原因之一。除草剂导致水生植物的减少或灭绝,一些淡水物种的灭绝是否与除草剂的使用有关值得进一步研究。

References:

[1] Brink P J, *et al.* Sensitivity of macrophyte dominated freshwater microcosms to chronic levels of the herbicide linuron I. Primary producers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1997, **38**(1):13~24.

[2] Fairchild J F, *et al.* Comparative sensitivity of five species of macrophytes and six species of algae to atrazine, metribuzin, alachlor, and metolachlor. *Environ. Toxicol. Chem.*, 1998, **17**(9):1830~1834.

[3] Roshon R D, McCann J H, *et al.* Proceedings of the third international conference on forest vegetation management. Sault Ste. Marie, Ontario, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, **29**(7):1158~1169.

[4] Zhou Qi. *Protocol of Plant physiological experiments*. Beijing: China agricultural Press, 2000. 91~93.

[5] Arnon D T. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Poly-phenoloxidase in Beta vulgaris. *Plant Physiol.*, 1949, **24**(1):1~15.

[6] John W. Gronwald and Kathryn L. Plaisance, Isolation and Characterization of Glutathione S-Transferase Isozymes from Sorghum, *Plant Physiol.*, 1998, **117**:877~892.

[7] Hu X X. Status quo and Development of pesticides in China. *Pesticides*, 1998, **37**(6):7~10.

[8] Shu S Q. *Generality of herbicides*. Beijing: Science Press, 1989. 163~166.

[9] Li F Z and Zhi L F, Effects of Noxious property on Carps' seed, Young fish fry and Frog egg following Butachlor Treatments. *Pesticides*, 1989, **28**(2):30~36.

[10] Zhang Y J, Shun H T and Wang C S, *Herbicides and their mixtures and chemical control of field herbt*. Beijing: China agro-science Press, 2000. 9.

[11] Peter Reinemer, Lars Prade, Peter Hof, *et al.* Three-dimensional Structure from Arabidopsis thaliana at 2.2 Å Resolution: Structural Characterisation of Herbicide-conjugating Plant Glutathione S-transferase and a Novel Active Site Architecture. *J. Mol. Biol.*, 1996, **255**: 289~309.

[12] Freemark K, Boutin C. Noutarget plant risk assessment for pesticide registration. *Environmental Management*, 1994, **18**(6):841~854.

参考文献:

[4] 邹琦. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2000. 91~97.

[7] 胡笑行. 我国农药工业的现状与发展方向. 农药, 1998, **37**(6):7~10.

[8] 苏少泉. 除草剂概论. 北京: 科学出版社, 1989. 163~166.

[9] 李凤珍, 支良凡. 丁草胺对鲤鱼种、鱼苗、水蚤及蛙卵的毒性研究. 农药, 1989, **28**(2):30~36.

[10] 张玉聚, 孙化田, 王春生主编. 除草剂及其混用与农田杂草化学防治. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 9.