

城市人工湖富营养化评价及污染控制的研究

韩智勇, 刘丹, 李启彬 (西南交通大学环境科学与工程学院, 四川成都 610031)

摘要 以成都镜湖为例, 采用综合营养状态指数法和灰色系统评价法对镜湖水质富营养化进行评价, 2种方法一致得出镜湖绝大部分监测点和整体水平均处在60~70的富营养级上。同时根据人工湖典型的内、外污染源分析, 提出了减少污染源, 增加湖水置换量, 投加铁、铝盐和杀藻剂, 修建喷泉, 恢复水生植物和人工合理调节水生动物等人工湖富营养化污染控制措施, 为城市人工湖富营养化评价及污染控制提供科学理论依据。

关键词 人工湖; 富营养化; 环境评价; 污染控制

中图分类号 X55 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)31-13808-03

Study on Eutrophic Assessment and Control of Urban Artificial Lakes

HAN Zhi-yong et al (School of Environmental Science and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031)

Abstract In order to provide the scientific basis for eutrophic assessment and control of urban artificial lakes, the eutrophication of Mirror Lake in Chengdu by comprehensive nutrition status index method and grey system theory method was assessed. There were the same results showing most of the monitoring dots and the holistic level of Mirror Lake was the eutrophic level from 60 to 70. At the same time through analysing the inner and exterior pollution fountainheads of artificial lakes, some effective control measures of eutrophication were applied, such as decreasing the pollution fountainheads, increasing the amount of replacement water, putting some ferric salt, aluminum salt and algicide, building fountains, restoring the kinds of hydrophilic plants and animals, and so on.

Key words Artificial lake; Eutrophication; Environmental assessment; Eutrophic control

镜湖位于成都市西北部的金牛区西南交通大学校园中心, 成封闭格局, 是典型的城市人工湖泊。镜湖沿岸植被丰富, 降雨汇水区域包括求实路和唐臣路包围的所有区域, 其湖泊容积为73 770 m³, 水域面积36 685 m², 汇水面积100 050 m², 平均水深2 m, 最大水深15 m, 沿岸线周长2 073.8 m。

由于镜湖水体受到众多污染源的影响, 加之进水渠道因市政改造后废弃, 水体循环交替十分缓慢, 以致其富营养化十分严重。尤其是在每年春、夏季, 湖水变色(墨绿、褐色、黄色), 大量漂浮物和藻类浮于湖面, 严重影响了人们的视觉观感。因此, 笔者以点代面, 以镜湖为例进行研究, 给典型的城市人工湖富营养评价和水污染的防治与治理提供科学理论依据。

1 调查方法

1.1 监测布点 根据环境影响评价技术导则中对湖泊、水库监测断面和采样点的规定, 该研究分别在镜湖的进、出口, 湖中心, 深、浅水区, 滞留区设置了12个监测断面, 18个采样点, 监测布点图见图1所示。

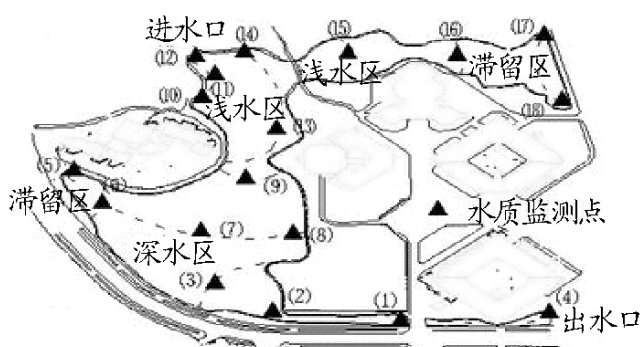


图1 镜湖监测布点图

Fig.1 The distribution of monitoring sites in Mirror Lake

1.2 水样采集 遵照《水和废水监测分析方法》(第四版), 在2005年镜湖水水质最差的5月份(1.8日)取了两次水样, 分别对浊度(浊度仪法)、COD(重铬酸钾法)、TP(钼锑抗分光光度法)、TN(碱性过硫酸钾消减紫外分光光度法)、Chl-a(比色

法)进行了测定。

2 监测结果

各点的监测值取两次监测的平均值;SD根据国家环保总局编制的《水和废水监测分析方法》中浊度与十字法测定的透明度进行换算;COD_m根据在受污染程度不太严重的水体中,COD_{cr}的值是COD_m值的3~5倍进行换算^[1]。镜湖各点监测值见表1所示。

表1 镜湖水质监测值

Table 1 The monitored values of water quality in Mirror Lake

指标监测点	Chl-a	TP	TN	COD _m	SD
Monitoring sites of indices	ng/m ³	ng/m ³	ng/m ³	mg/L	m
1#	49.24	0.1251	3.025	12.10	0.50
2#	34.87	0.0636	1.559	19.27	0.55
3#	58.14	0.0779	3.933	12.79	0.60
4#	221.42	0.1681	20.595	6.31	0.52
5#	112.40	0.0718	9.471	11.06	0.61
6#	85.83	0.0554	6.759	11.23	0.59
7#	74.43	0.0759	5.596	5.18	0.58
8#	68.77	0.1394	5.018	9.42	0.68
9#	90.48	0.1148	7.233	11.23	0.57
10#	35.64	0.1210	1.638	8.04	0.52
11#	151.17	0.0718	13.427	7.86	0.51
12#	72.01	0.1271	5.349	8.55	0.52
13#	83.06	0.0677	6.476	4.32	0.58
14#	49.27	0.0615	3.029	6.05	0.54
15#	27.68	0.0759	826	8.81	0.54
16#	149.93	0.0820	13.300	7.34	0.50
17#	42.94	0.0636	2.382	6.05	0.58
18#	45.96	0.0738	2.690	6.31	0.59
平均值 Mean	80.73	0.0909	6.239	9.00	0.56

3 水体富营养化评价

3.1 评价标准 湖泊富营养化水质评价标准采用国内《湖泊富营养化调查规范》(1994)推荐的标准。

3.2 评价方法

3.2.1 综合营养状态指数法。综合营养状态指数法考虑了

各因子对湖泊富营养化的贡献程度,因此,需确定每个因子的权值,从而保证评价的客观性与准确性。其公式如下:

$$TII(\quad) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TII(j) \quad (1)$$

式中, $TII(\quad)$ 是综合营养状态指数; $TII(j)$ 代表第 j 种参数的营养状态指数; W_j 代表第 j 种参数营养状态指数的相关权重;以 $Chl-a$ 作为基准参数,与其他参数的关系见表2。营养状态指数计算公式为:

$$TII(Chl-a) = 10(2.500 + 1.086 \ln Chl-a) \quad (2)$$

$$TII(TP) = 10(9.436 + 1.624 \ln TP) \quad (3)$$

$$TII(TN) = 10(5.453 + 1.694 \ln TN) \quad (4)$$

$$TII(SD) = 10(5.118 - 1.940 \ln SD) \quad (5)$$

$$TII(COD_{Mn}) = 10(0.109 + 2.661 \ln COD_{Mn}) \quad (6)$$

根据公式(1)~(6),计算结果见表3。

表2 $Chl-a$ 与其他参数的关系

Table 2 The relationship between $Chl-a$ and other parameters

参数 Parameters	W_j	参数 Parameters	W_j
$Chl-a$	0.266 3	COD_{Mn}	0.183 4
TP	0.187 9	SD	0.183 4
TN	0.179 0		

表3 镜湖富营养化综合营养状态指数法计算结果

Table 3 The calculation results of eutrophication in Mirror Lake by comprehensive nutrition status index method

监测点 Monitoring sites	TII					
	$Chl-a$	TP	TN	COD_{Mn}	SD	
1 #	67	73	67	61	65	67
2 #	64	62	80	50	63	64
3 #	69	78	69	53	61	66
4 #	84	106	50	65	64	74
5 #	76	93	65	52	61	70
6 #	73	87	65	47	61	67
7 #	72	84	45	52	62	64
8 #	71	82	61	62	59	67
9 #	74	88	65	59	62	70
10 #	64	63	57	60	64	62
11 #	80	99	56	52	64	71
12 #	71	83	58	61	64	68
13 #	73	86	40	51	62	63
14 #	67	73	49	49	63	61
15 #	61	51	59	52	63	58
16 #	79	98	54	54	65	71
17 #	66	69	49	50	62	60
18 #	67	71	50	52	61	61
平均值 Mean	71	80	58	55	62	66

由表3可知,镜湖监测点中,除4#、5#、9#、11#和16#监测点为重富营养,15#监测点处于中富营养外,其余12个监测点均处在富营养级。镜湖整体水质综合营养状态指数为66,处在富营养级。

3.2.2 灰色系统评价法。湖泊环境系统属典型的灰色系统。灰色系统分析的实质是充分、合理地利用已知信息来替代未知的、非确知的信息,对灰色系统的本质属性进行分类识别,并给出客观、可靠的量化分析结果^[2]。具体步骤如下:在评价区域内选取 L 个评价点,以 $j = 1, 2, \dots, L$ 表示;选取 n 种

指标项,以 $i = 1, 2, \dots, n$ 表示;选取 m 类评价等级,以 $k = 1, 2, \dots, m$ 表示。用 X_i 表示第 i 种污染物的实测值; X_{ik} 表示第 i 种污染物第 k 级标准值。

(1) 建立隶属函数。

$$Y_{ik}(x) = 1, X_i < X_{ik}, \quad (7)$$

$$Y_{ik}(x) = \frac{X_i}{X_{ik}}, X_{i,k-1} < X_i < X_{ik}, \quad (8)$$

$$Y_{i,k-1}(x) = \frac{X_{ik} - X_i}{X_{ik}}, X_{i,k-1} < X_i < X_{ik}, \quad (8)$$

$$Y_{ik}(x) = 1, X_i \geq X_{ik}, \quad (9)$$

(2) 确定各评价点的聚类指数集。

$$j_k = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{ik}(x) \right\} \quad (10)$$

(3) 确定最终评价结果。

$$H_j = \max\{j_k\} \quad (11)$$

k 为第 j 个评价点的最终污染级别。根据公式(7)~(11),镜湖水质的富营养评价结果见表4所示。

由表4可知,本项目所有监测点均处在富营养级,其中监测点7#、13#、15#、16#点处在60分值的富营养级,其余点均处在70分值的富营养级。镜湖整体水质处在富营养级。

3.2.3 两种评价方法的比较。该研究采用的两种综合评价方法中,综合营养状态指数法考虑了各因子之间的权重分配,灰色系统评价法考虑了评价数据的有限时空性。虽然每种方法的侧重点不同,但是却得出了一致的结果,即镜湖绝大部分监测点均处在60~70的富营养级上,总体水平为富营养级。可见,采用综合营养状态指数法和灰色系统评价法对城市人工湖泊富营养化进行评价,均能得到比较客观的评价结果。

4 富营养化的原因分析及治理措施

4.1 富营养化的原因分析

4.1.1 水力交换缓慢,稀释扩散强度弱小。由于镜湖无法连续补给,使其成为封闭的死水湖,整个水体基本上处于静止状态,水力交换极其缓慢,污染物难以稀释和扩散,污染物分布不均,加上湖体不规则,易形成死角,使局部水域水质恶化,因而影响到整个湖体水质,尤其是在春末夏初时,会使水体富营养化水平加剧。

4.1.2 生态结构薄弱,自净能力有限。镜湖生态结构单一而薄弱,水生生物食物链不稳定,主要以混杂鱼类和藻类生物为主,再加上透明度小,大量的沉水植物和其他水生生物的生长受到限制,从而影响镜湖的生态系统,减弱其物质的循环和交换,使镜湖水体自净能力较弱,难以完全降解和消化所有入湖污染物质,使污染物不断积累,导致湖水水质恶化。

4.1.3 外源污染源多,增加进入镜湖的污染物。镜湖的点污染源主要为部分外源排污口,面源污染为湖泊周围植被落叶入湖以及雨水汇入。镜湖水域有部分苗圃的农用污水和少量的生活废水及洗车废水汇入。同时,降雨是镜湖的主要

给水源之一。在降雨径流的淋洗和冲刷作用下,大气和地表的污染物进入湖体,每年汇入镜湖的雨水量达9.4万 m^3 ,是镜湖总容积的1.27倍。监测汇入镜湖的雨水水质,其中 NH_3-N 1.2402 mg/L、TP0.2817 mg/L、COD173.13 mg/L、浊度

752、pH值6.90,由此可知,镜湖水体的雨水水质,各项指标均严重超标,超标倍数在2.48~5.63倍,进入湖体的COD量为16.3t, NH_3-N 量为116.6kg,TP量为26.5kg。可见,雨水是镜湖水质污染的主要原因之一,尤其对镜湖水体的透明度和

表4 镜湖富营养化灰色系统评价法计算结果

Table 4 The calculation results of eutrophication in Mirror Lake by gray system evaluation method

等级 jk Grade	贫营养 10 Oligotrophication	贫中营养 20 Oligo-mesotrophication	中营养 30 Mesotrophication	中营养 40 Mesotrophication	中富营养 50 Mesotrophication	富营养 60 Eutrophication	富营养 70 Eutrophication	重富营养 80 Hyper-eutrophication	重富营养 90 Hyper-eutrophication	重富营养 100 Hyper-eutrophication	H_k	等级 Grade
1#	0	0	0	0	0.10	0.32	0.55	0.33	0.20	0.12	0.55	富营养
2#	0	0	0	0	0.16	0.37	0.45	0.31	0.18	0.11	0.45	富营养
3#	0	0	0	0	0.12	0.29	0.51	0.37	0.22	0.13	0.51	富营养
4#	0	0	0	0	0.17	0.29	0.36	0.23	0.20	0.30	0.36	富营养
5#	0	0	0	0	0.13	0.27	0.32	0.29	0.23	0.20	0.32	富营养
6#	0	0	0	0	0.17	0.23	0.34	0.30	0.29	0.16	0.34	富营养
7#	0	0	0	0	0.20	0.40	0.38	0.38	0.23	0.13	0.40	富营养
8#	0	0	0	0	0.06	0.21	0.57	0.42	0.25	0.14	0.57	富营养
9#	0	0	0	0	0.09	0.20	0.39	0.32	0.31	0.18	0.39	富营养
10#	0	0	0	0	0.10	0.35	0.63	0.24	0.14	0.08	0.63	富营养
11#	0	0	0	0	0.15	0.29	0.31	0.31	0.18	0.10	0.31	富营养
12#	0	0	0	0	0.10	0.21	0.50	0.41	0.25	0.14	0.50	富营养
13#	0	0	0	0	0.15	0.37	0.33	0.26	0.25	0.13	0.37	富营养
14#	0	0	0	0	0.17	0.36	0.51	0.27	0.16	0.09	0.51	富营养
15#	0	0	0	0	0.18	0.56	0.49	0.19	0.11	0.07	0.56	富营养
16#	0	0	0	0	0.14	0.32	0.31	0.31	0.18	0.24	0.32	富营养
17#	0	0	0	0	0.16	0.39	0.52	0.24	0.14	0.08	0.52	富营养
18#	0	0	0	0	0.13	0.40	0.53	0.26	0.15	0.09	0.53	富营养
平均值	0	0	0	0	0.11	0.31	0.44	0.30	0.27	0.15	0.44	富营养
Man												

富营养化污染最为严重。

4.1.4 内源污染积累量大,长期污染水体。镜湖的内源污染物主要是沉积物和水生动植物。

镜湖水体底泥除深水区外,其他各区域底泥的平均厚度在25~30cm,呈黑褐色,含有丰富的N、P等营养元素和大量有机物质,成为镜湖富营养化污染和有机污染的主要污染源。

镜湖水体中生活着许多水生生物,水生动物主要是混杂鱼种,水生植物主要是各种藻类。由于在春夏之交经常发生大规模的微囊藻和水华鱼腥藻组成的蓝藻水华现象,破坏了镜湖水域的生态平衡,减小了水体透明度,抑止了沉水植物的生长。当大量藻类死亡后,分解残体会对镜湖造成严重的有机污染。

4.2 镜湖水域污染的治理措施 根据镜湖的具体情况,并结合前人对湖泊整治的研究,该研究提出以下治理措施^[3-5]。

4.2.1 截污。由于镜湖受外源污染较大,因此减少外源污染物的进入,成为首要的治理手段。如把苗圃的排污渠和车库附近的雨水管排出的污染物引入地下市政管网;改变镜湖湖水以雨水为主的补给方式;加强日常维护,及时打捞湖中污染物。

4.2.2 引水冲洗。增加对镜湖的引水次数,最好能每两个月引水一次,以便置换营养盐含量高的湖水,改善水质。如果每两个月引一次水有困难,建议在春末、夏季和秋末镜湖水

质易恶化的时期各引水一次。

4.2.3 投加铁、铝盐和杀藻剂。当镜湖水体在春末夏初发生严重水华现象时,可以考虑向湖中加入铁盐或铝盐,将湖水中溶解的无机磷转化为不溶性磷酸化合物沉淀,抑制湖中生物的生产力;也可考虑利用杀藻剂杀死藻类,消除湖面水华现象。

4.2.4 修建喷泉,加强人工水力循环。在水体滞留区域或死角设置喷泉,增加水体流动性和溶解氧含量,也可加强镜湖水体活力,更加美观。同时,还可以在湖中采用动力设备加强水力循环,营造人工水流或全层曝气,破坏成层,改善水质,抑制藻类。

4.2.5 生物综合防治。

(1) 恢复高等水生植被。建议在浅水死角区域种植挺水植物、芦苇、菱草等,以及漂浮植物莲、藕、凤眼莲等,同时对根区和表层进行范围固定,防止向其他区域蔓延,这样既可美化死角区域的环境,又具有一定的去污作用。

在其他较深的水域,可种植马来眼子菜、苦草、黑藻等沉水植物,尽量通过人工控制,恢复镜湖的高等水生植被。经过改造,镜湖围堤均成为混凝土围堤,通过人工控制,恢复围堤水域的水生植被。

(2) 浮游动物的调节。由于镜湖水体中的鱼类均是人工随意投养的杂类鱼种,建议在专家的指导下,养殖一些草食性鱼类、水蚤、蚌和螺等浮游动物,对净化富营养化湖水有一

表2 苄 磺隆不同浓度处理对白菜芽长影响的测定结果

Table 2 The determination results of the effects of treating with bensulfuron methyl at different concentrations on the bud length of Chinese cabbage

处理 Treat- ment	平均芽长 Average bud length cm	显著性 Significance		抑制率 Inhibition rate %	回归方程 Regression equation	相关系数 (r) Correlation coefficient	LC ₁₀ μg/ml
		0.05	0.01				
CK	0.843 0	a	A				
	0.735 0	b	B	12.81	Y=3.720 4+0.907 1x	0.950 1	0.112 0
	0.714 3	b	BC	15.27			
	0.628 5	c	C	25.44			
	0.600 0	d	D	28.83			
	0.587 8	d	D	30.27			

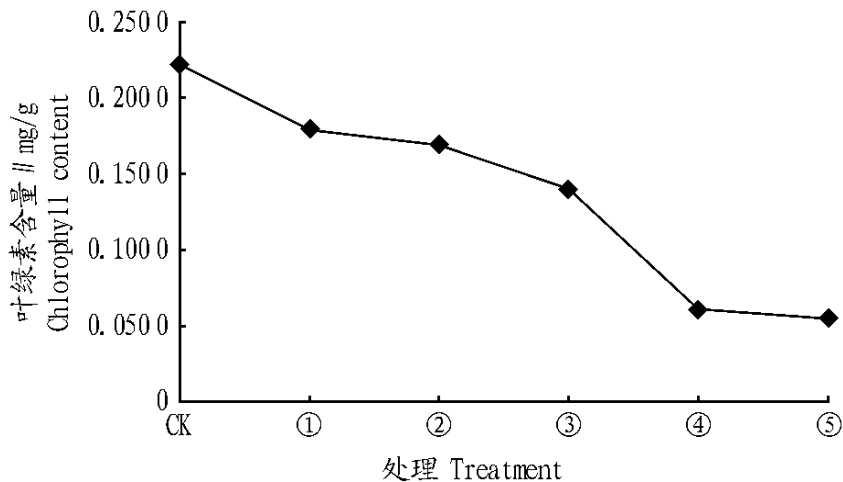


图1 苄 磺隆对白菜叶片中叶绿素含量的影响

Fig.1 Effects of bensulfuron methyl on the content of chlorophyll in the leaves of Chinese cabbage

同的影响。随着药剂浓度的提高可溶性糖的含量呈上升趋势,但低浓度处理条件下增加的幅度不大,当药剂浓度在 15.000 0 ~30.000 0 μg/ml 时,白菜叶片中可溶性糖的含量增加幅度较大。

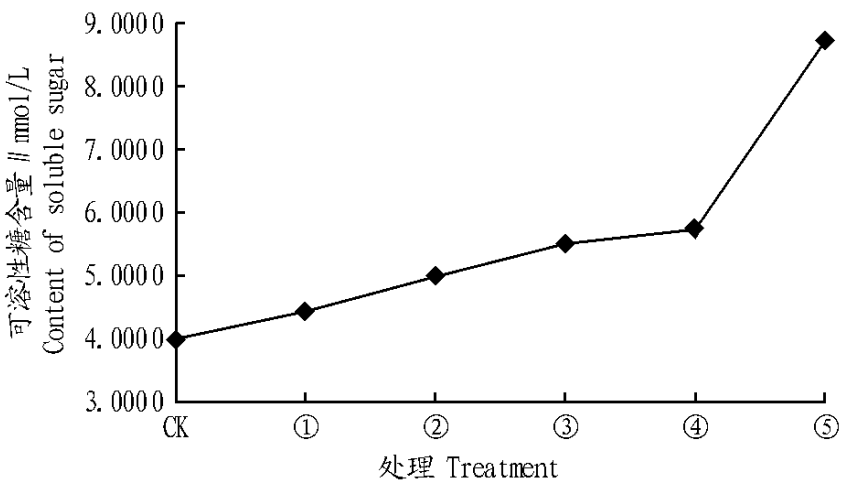


图2 苄 磺隆对白菜叶片中可溶性糖含量的影响

Fig.2 Effects of bensulfuron methyl on the content of soluble sugar in the leaves of Chinese cabbage

(上接第13810页)

定积极作用。同时还可以在镜湖里放养一些鸭、鹅,既增加了镜湖中的生物多样性,也增强了镜湖湖面的活力。

5 结论

采用综合营养状态指数法和灰色系统评价法对城市人工湖泊富营养化进行评价,均能得到比较客观的结果。两种方法一致得出镜湖处于富营养级。由于城市人工湖水力交换缓慢、污染源多、自净能力小、生态结构薄弱,使其水质很容易受到富营养化污染。因此,通过采取减少污染源、增加湖水置换量,在发生严重水华时投加铁、铝盐和杀藻剂,

2.5 苄 磺隆对白菜叶片中丙二醛含量的影响 苄 磺隆对白菜叶片中丙二醛含量影响的测定结果见图3。由图3可知,苄 磺隆不同浓度处理对白菜叶片中丙二醛含量具有不同的影响,随着药剂浓度的提高白菜叶片中丙二醛的含量呈现出增加趋势。但是低浓度处理增加幅度小,高浓度处理白菜叶片中丙二醛含量增加明显。

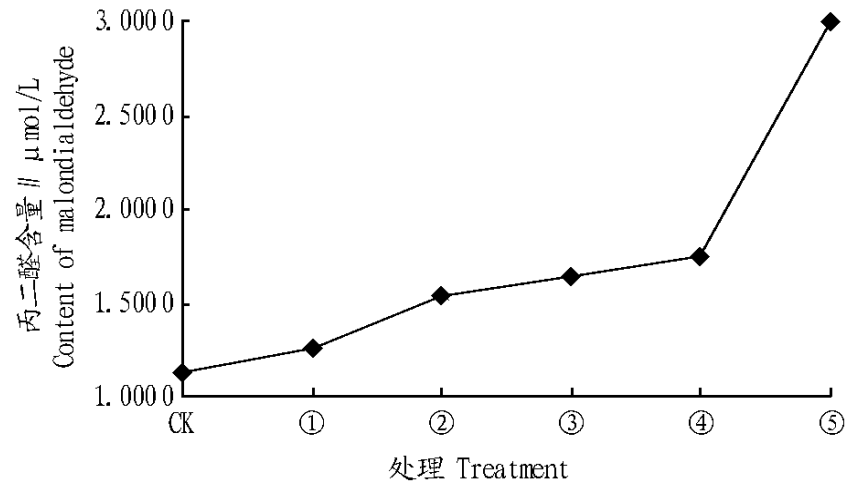


图3 苄 磺隆对白菜叶片中丙二醛含量的影响

Fig.3 Effects of bensulfuron methyl on the content of malondialdehyde in the leaves of Chinese cabbage

3 小结与讨论

(1) 苄 磺隆对白菜芽长的安全性大于根长,其 LC₁₀ 值分别为 0.112 0, 0.066 3 μg/ml。因此,田间使用苄 磺隆进行化学除草时最好采用茎叶处理法,并且选择最佳施药时期和施药剂量,以免对后茬白菜产生药害。

(2) 苄 磺隆对白菜叶片中叶绿素、丙二醛、可溶性糖的含量具有较大的影响,但随着处理浓度的提高叶绿素、丙二醛、可溶性糖的含量变化不同;叶绿素含量随着药剂浓度的不断提高呈下降趋势,丙二醛和可溶性糖的含量则随着处理浓度的升高而增加,但不同浓度之间增加的幅度不同。

参考文献

- [1] 张洪进,杨慕林.通州市农田除草药害现状及控制[J].杂草科学,2007(1):45-48.
- [2] 赵善欢.植物化学保护[M].北京:3版.中国农业出版社,2003:131-189.
- [3] 王险峰.长残效除草剂对后茬作物的影响[J].现代农业,2002(8):10-12.
- [4] 娄国强,吕文彦,高扬帆.常用除草剂对不同玉米品种的安全性[J].安徽农业科学,2005,33(9):1596-1597.
- [5] 娄国强,吕文彦,职明星.MCPA对小麦幼苗生长及生理性状的影响[J].麦类作物学报,2006,26(5):143-145.
- [6] 王忠,顾蕴洁.植物生理生化实验[M].北京:中国农业出版社,1994:98-102.
- [7] 赵世杰,许长成,邹琦,等.植物组织中丙二醛测定方法的改进[J].植物生理学通讯,1991,30(3):207-210.

修建喷泉、恢复水生植物和人工合理调节水生动物等措施,可有效治理城市人工湖的富营养化现象。

参考文献

- [1] 樊萍,孙健,李坤,等.环境监测数据预审中部分指标的相关性分析[J].环境研究与监测,2006,19(4):17-19.
- [2] 邓聚龙.灰色系统 社会、经济[M].北京:国防工业出版社,1985.
- [3] 邓泓,何国富,邢和祥,等.河道水体富营养化污染综合治理的研究[J].环境科学与技术,2008,31(2):132-135.
- [4] 孙亚敏,董曼玲,汪家权.内源污染对湖泊富营养化的作用及对策[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2000,23(2):210-213.
- [5] 刘晓群,刘克文.城市人工湖与富营养化防治[J].湖南水利水电,2003(6):28-29.