

水速率越快, 它们的浸出浓度与浸出总量越低。

(4) 最大浸出浓度(如表 9 和 10 示)

从表 9、10 看出, 铅锌弃渣中砷的最大浸出浓度为 $1075 \mu\text{g/L}$; 氟为 8.48mg/L ; 锌为 $410 \mu\text{g/L}$; 铜为 $14.7 \mu\text{g/L}$; 铅为 $29.2 \mu\text{g/L}$; 镉为 $176 \mu\text{g/L}$; 浸滤出水 pH 范围为 7.05—10.7; 电导率最大值为 $1370 \mu\text{S/cm}$ 。

由浸出谱图中主要污染元素的浸出状况看, 一般情况下, 当过水量达到 1—4 水/渣比时, 渣中多数污染成分都已达到最大浸出峰值, 过水量达到 8 水/渣比后, 这些污染物质浸出微量或低于检限。

6. 结论

在历时一年多的实验室研究中, 铅锌弃渣承受了不同模拟环境因素下的浸沥过程, 概括起来, 铅锌弃渣的水浸出行为大体有如下几点:

(1) 温度是影响弃渣中污染成分(氟除外)浸出的主要影响因素, 渣中多数污染成分的浸出浓度与浸出量随温度升高而升高。

(2) 在任何条件下, 砷都是弃渣中可能污染环境的重要有害元素之一, 其次是氟。实验过程中出现的最大砷浸出浓度值为 $1075 \mu\text{g/L}$, 氟为 8.48mg/L , 分别为有色冶金工业废水排放标准的 2.15 和 0.17 倍。

(3) 在所研究的 pH 范围(4—60)内, 浸出液 pH 与渣中重金属离子的浸出呈负相关, 而与 F^- 以及 As 的浸出呈正相关。

(4) 弃渣中所有污染成分的浸出均随过水速率的加快而减少。过水速率降低, 它们的浸出浓度或浸出量亦随之提高。

(5) 相同条件下, 锌回转窑渣中砷的最大浸出浓度比铅烟化炉渣中的为高, 铅渣中氟的最大水浸出浓度比锌渣中的高。

参 考 文 献

- [1] GB—5085.
- [2] GB—5086.
- [3] GB—5087.
- [4] GBJ8—74.
- [5] GB—5088.

(收稿日期: 1987 年 7 月 23 日)

低浓度 SO_2 长期暴露对小麦生长和产量的影响

舒俭民 曹洪法 高映新 刘燕云 刘连贵

(中国环境科学研究院生态研究所)

随着化石燃料, 特别是煤的燃烧量日益增加, 大气层 SO_2 的浓度越来越高, 成为当今世界对绿色植物危害最严重的大气污染物之一。 SO_2 对植物, 特别是对农作物的影响, 已受到普遍重视^[1-3]。近年来, 我国有关科研人员陆续开展了 SO_2 对农作物生长、发育和代谢等方面影响的研究^[4,5]。本文报道利用野外开顶式熏气装置^[6]研究低浓度 SO_2 对冬小麦生长和产量影响的试验结果。

一、材料和方法

材料: 为冬小麦“丰抗 7 号”。于 1986 年 9 月下旬播种于直径 25cm、深 18cm 的瓦质花盆之中。盆栽土壤为田园土: 草炭土: 马粪——8:4:2, 常规管理。每盆播种 15 粒, 苗齐后定苗 12 株, 花盆平埋地下越冬。

SO_2 熏气暴露: 越冬后于拔节前期(1987 年 4 月 13 日)开始熏气处理, 在野外开顶式

熏气装置中进行。供试气体 SO_2 浓度分别为 0(对照)、0.05、0.10、0.15 和 0.20ppm 共五个处理。暴露时间为每天 8 小时 (8:30—16:30), 每周 6 天共 45 天。闪烁荧光 SO_2 分析仪定期监测 SO_2 浓度。

生物指标测定: (1) 在暴露的 5、15 和 25 天后, 自每处理中随机取出 3 盆, 称取 0.2g 鲜叶用 90% 丙酮提取, UV-260 紫外分光光度计测定叶片光合色素含量; (b) 在暴露的 5、15、25 和 35 天用钢卷尺测量株高, AM-1 型面积仪测量每盆叶面积; (c) 上述项目完成后, 将根、茎、叶分开后洗净, 在 80°C 烘箱中干燥 48 小时, 分别称量干重。

产量测定: 暴露结束(45 天)后, 继续在熏气室放置小麦成熟, 测量每盆小麦穗数、单穗重、穗粒数、穗粒重、千粒重和盆产量, 每处理 10 盆重复。

二、结果和讨论

(一) SO_2 对小麦光合色素含量的影响
光合色素含量是衡量植物生产力的一个

重要指标。 SO_2 自气孔进入叶肉组织, 改变了细胞的 pH 值, H^+ 浓度增加, 从而影响光合色素的合成、分解和功能。本试验于不同暴露阶段测定了 SO_2 对小麦叶片中叶绿素 a、b、总叶绿素和类胡萝卜素含量的影响, 测定结果见表 1。

表 1 数据表明, 低浓度 SO_2 短期暴露(5 天)对叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量均有促进作用。其中 0.10ppm SO_2 暴露 5 天后, 使叶绿素 a、b 和总叶绿素含量显著增加, 与对照比较呈 $P < 0.01$ 的显著差异。0.05 ppm SO_2 暴露至 15 天时, 叶绿素 a、类胡萝卜素和总叶绿素含量仍有所增加, 直至暴露 25 天后, 这三种色素含量才低于对照, 但与对照比较没有显著性差异 ($P > 0.05$)。该浓度暴露的叶绿素 b 含量经 25 天暴露后比对照显著减少 ($P < 0.05$)。0.15 和 0.25ppm SO_2 暴露在处理初期三种色素含量比对照高一些 ($P > 0.05$), 暴露至 15 天时, 叶绿素 a 和类胡萝卜素含量显著下降, 叶绿素 b 的含量仍略高于对照。但此时 0.05 和 0.10ppm

表 1 SO_2 对小麦叶片光合色素的影响*

SO_2 浓度 (ppm)	暴露时间 (d×h)	色素含量比对照减少的百分率(%)**			
		叶绿素 a	叶绿素 b	类胡萝卜素	总叶绿素
0.00	5×8	0a	0a	0a	0a
0.05		-2.4a	-5.1a	-2.7a	-3.6ab
0.10		-9.9b	-10.6	-6.0a	-9.8b
0.15		-0.7a	-1.6a	-8.0a	-5.5ab
0.20		-1.3a	-10.6b	-2.5a	-1.7ab
0.00	15×8	0a	0a	0a	0a
0.05		-1.7a	+1.8a	-1.0a	-1.3a
0.10		+5.3b	+9.2b	+6.1b	+1.6a
0.15		+9.8b	-5.1a	+6.9b	+6.7b
0.20		+7.7b	-3.6a	+5.4b	+5.4b
0.00	25×8	0a	0a	0a	0a
0.05		+4.1a	+8.3b	+3.5a	+7.0a
0.10		+13.3b	+17.6bc	+12.5b	+15.9b
0.15		+14.0b	+20.4c	+17.8b	+17.9bc
0.20		+17.9c	+21.5c	+19.8b	+20.2c

* 经 F 检验两两比较, 表中有相同字母者代表差异性不显著 ($P > 0.05$)。

** - 表示比对照增加, + 表示比对照减少。

SO₂ 处理的叶绿素 b 含量反而下降, 这可能是采样误差或测量误差所致。

暴露 25 天后, 0.10、0.15 和 0.20 ppm SO₂ 处理的小麦叶片的叶绿素 a、b、类胡萝卜素含量显著降低, 与对照比较均呈显著性差异 ($P < 0.05$)。且色素含量下降的幅度与 SO₂ 浓度呈明显的负相关, SO₂ 浓度越高, 色素含量越低。从表 1 还可以看出, 对于小麦叶片光合色素含量来说, 大约 0.05 ppm SO₂ 为其忍受极限, 表现为短期暴露受益, 长期暴露虽有下降趋势, 但与对照比较差异性始终不显著 ($P > 0.05$)。从总的趋势分析, 由于 SO₂ 的伤害, 小麦叶片光合色素含量随 SO₂ 浓度增加而降低, 随暴露时间延长而降低。至暴露结束时, 叶绿素 b 含量降低的幅度为 8.26% (0.05 ppm)—21.5% (0.20 ppm); 叶绿素 a 和类胡萝卜素含量降低的幅度分别为 4.33—17.86% 和 3.54—19.5%。显然, 低浓

度 SO₂ 长期暴露对叶绿素 b 的影响大于对叶绿素 a 和类胡萝卜素。

(二) SO₂ 对小麦生长发育的影响

根据暴露 5、15、25 和 35 天后用收割法收获的小麦地上和地下部分生物量分析, SO₂ 对小麦生长发育的影响是明显的 (见表 2)。各处理经 5 天暴露后, SO₂ 对株高、根干重有较明显的促进作用, 对叶面积、茎和叶的干物质积累影响不显著。但是, 此时 0.05 ppm SO₂ 暴露对上述各生物指标均有促进作用 ($P > 0.05$)。与对色素的影响趋势一致, 即 SO₂ 对生物生长也有先促后抑作用, 随暴露时间延长抑制作用愈加明显。

SO₂ 对株高的影响, 在暴露进行到 15 天时, 0.15 和 0.20 ppm 处理的与对照和其它浓度处理的比较呈显著性差异 ($P < 0.05$)。暴露 25 天后, 0.20 ppm 处理的与 0.15 ppm 处理产生显著性差异 ($P < 0.05$)。从表 2 还可看

表 2 SO₂ 对小麦生长和干物质积累的影响*

SO ₂ 浓度 (ppm)	暴露时间 (d × h)	株 高 (cm)	叶面积 (cm ²)	叶干重 (g)	茎干重 (g)	根干重 (g)
0.00	5 × 8	27.1a	992.9a	4.90a	3.10a	5.25a
0.05		28.8a	1146.5a	5.20a	3.10a	5.85a
0.10		26.9a	904.9a	4.80a	2.90a	5.60a
0.15		27.3a	885.2a	4.90a	2.90a	5.50a
0.20		27.1a	917.9a	4.90a	3.05a	5.50a
0.00	15 × 8	69.4a	3409.0a	11.20a	20.45a	9.60a
0.05		66.9a	3207.3b	10.50a	19.35a	9.25a
0.10		65.3a	2810.8c	9.15b	18.35b	9.10a
0.15		62.4b	2753.5c	9.30b	16.25c	8.75b
0.20		62.5b	2351.5d	7.20c	15.50d	8.20b
0.00	25 × 8	78.4a	2800.7a	9.02a	26.20a	11.31a
0.05		76.5a	2554.8b	8.86a	25.14a	11.04a
0.10		76.3a	2580.0b	8.24b	24.17b	10.82b
0.15		74.4b	2196.9c	7.03c	20.81c	10.66b
0.20		69.8c	2068.8d	6.92c	20.55c	9.54c
0.00	35 × 8	79.1a	2488.6a	6.94a	28.17a	15.08a
0.05		77.6a	2467.4a	6.15b	28.06a	14.10b
0.15		78.3a	210.8b	6.09b	25.96b	12.86c
0.10		78.4a	2102.7b	5.39c	25.08b	12.48c
0.20		68.1b	1888.3c	5.04c	24.10c	12.22c

* 经 F 检验两两比较, 表中有相同字母者代表差异性不显著 ($P > 0.05$)。

出,在 25—35 天的暴露期间,0.20ppm 处理的小麦株高的生长基本上处于停止状态,略有下降可能系测量误差。而对照和其它处理的植株高度仍在缓慢增加。此时正值小麦抽穗灌浆期,其高度的增加主要是幼穗伸长,说明 SO_2 对小麦幼穗的伸长生长有一定的抑制作用。

叶片是植物吸收气态污染物的主要器官,也是污染物进入植物体后积累、代谢和转运库。因此,植物叶片生长状况是评价气态污染物影响的一个重要指标。在整个暴露试验期间,每天观察植物受害症状。当暴露进行到 23 天时,观察到 0.20ppm SO_2 处理的小麦叶片出现少量可见伤斑,表现为脉间产生点状或线状失绿和灰黄色斑点。但是,直至暴露结束,可见伤斑的出现率仍不足以作为判断达到伤害阈值的剂量指标(可见伤斑率 $\geq 5\%$ 时的浓度 $\times$ 时间 = 阈值)。其它处理自始至终没有观察到可见伤害症状。

表 2 数据表明,低浓度 SO_2 短时间暴露对叶面积和叶干重的影响不显著。暴露 5 天后,0.05ppm SO_2 对这两项指标还有促进作用 ($P > 0.05$)。但是,当暴露继续进行到 15 天时, SO_2 对叶面积生长和叶干物质积累的抑制作用开始明显。0.10 ppm 以上处理的叶面积和 0.15ppm 以上处理的叶重与对照比较差异性显著 ($P < 0.05$)。0.20ppm 处理的叶面积和叶干重与其它 SO_2 处理之间也呈显著性差异 ($P < 0.01$)。对叶面积来说,这种差异性一直保持到熏气结束。0.15ppm 处理的与其它处理之间产生 $P < 0.05$ 的显著性差异。0.05ppm 处理的叶干重直至 35 天后方与对照产生显著性差异 ($P < 0.05$)。而该浓度处理的株高与对照之间始终没有显著性差异 ($P > 0.05$)。说明低浓度 SO_2 对小麦叶片的抑制作用大于对株高的抑制。表 2 还可看出,当暴露进行到 15—25 天时,叶面积和叶干重已开始呈负增长趋势,这是因为此时小麦已进入生殖生长阶段,叶片的生长基本

停止,基部枯黄叶逐渐增加,属正常生理现象^[8]。

SO_2 对茎干物质和根干物质积累的影响趋势与对叶的影响趋势基本一致。但是抑制程度小于对叶生长的抑制(表 2)。0.05ppm SO_2 处理的小麦茎干重与对照比较,自始至终没有呈现显著性差异 ($P > 0.05$)。0.10ppm 处理在 15 天时与对照产生 0.05 水平上的差异性。0.05ppm 处理的小麦根干重暴露至 35 天时与对照比较差异性显著 ($P < 0.05$)。0.10 和 0.15ppm 处理的根干重暴露至 25 天时与对照差异性显著 ($P < 0.05$)。暴露结束时,各处理与对照比较,根和茎干重减少的百分率小于叶干重减少的百分率(表 3)。三者之间比较,以叶干重减少最明显,根次之,茎再次之。根干重和茎干重在整个处理期间一直呈增加趋势,与叶的生长行为不尽相同。

表 3 SO_2 暴露下小麦干物质减少百分率

SO_2 浓度 (ppm)	暴露时间 (p × h)	比对照减少(%)		
		根	茎	叶
0.00	35×8	0	0	0
0.05		6.5	0.4	11.4
0.10		14.7	7.8	12.2
0.15		17.2	11.0	22.3
0.20		19.0	14.4	27.4

(三) SO_2 对小麦产量的影响

低浓度 SO_2 长期暴露降低小麦光合色素含量、抑制叶片生长发育,其结果必然降低小麦产量。本试验在小麦成熟后进行了小麦产量构成因素和产量测定,结果见表 4。

表 4 数据表明,小麦产量构成因素中受 SO_2 影响最大的是单穗粒重,除 0.05ppm 处理的外,其它处理均与对照有显著性差异 ($P < 0.05$)。而 0.20ppm 处理的还与 0.05、0.10 和 0.15ppm 处理的有显著性差异 ($P < 0.05$)。其次是对单穗重和种子千粒重的影响。0.15ppm 以上浓度处理的单穗重与对照比较差异性显著 ($P < 0.05$); 0.20ppm 处理

表 4 SO_2 对小麦产量构成因素和产量影响*

SO_2 浓度 (ppm)	暴露时间 (d × h)	每盆穗数 (支)	单穗重 (g)	穗粒数 (粒)	单穗粒重 (g)	千粒重 (g)	每盆产量 (g)	减产率 (%)
0.00	45 × 8	8.92a	3.62a	23.9a	1.348a	51.54a	12.02a	1
0.05		8.89c	3.62a	23.8a	1.315a	51.21a	11.69a	2.7
0.10		8.53a	3.61a	23.8a	1.245b	50.24a	10.62b	11.6
0.15		8.64a	3.31b	23.7a	1.141bc	49.99ab	9.85bc	18.0
0.20		8.54a	3.22b	23.6a	1.110c	49.94b	9.48c	21.1

* 经 F 检验两两比较,表中有相同字母者表示差异性不显著 ($P > 0.05$).

的千粒重与对照比较差异性显著 ($P < 0.05$). SO_2 对每盆穗数和穗粒数的影响不显著,各处理与对照比较均没有显著性差异 ($P > 0.05$). 上述结果说明,低浓度 SO_2 长期暴露对产量构成因素的影响主要还是通过影响籽粒中光合产物的累积量,而对小麦的生殖过程影响较小,表现为每盆穗数和每穗籽粒数没有显著减少. 尽管如此,我们还是观察到各产量构成因素均有随 SO_2 浓度增高而降低的趋势,这些因素的总和构成了产量值.

表 4 结果说明, SO_2 对小麦有较明显的减产效应, 0.10ppm SO_2 暴露 45 天可使小麦减产 10% 以上. 除 0.05ppm SO_2 处理的外,其它 SO_2 浓度处理的均与对照有显著性差异 ($P < 0.05$). 0.20ppm 处理与对照和 0.05ppm 处理之间差异显著性达 $P < 0.01$. 与 0.01ppm 处理之间差异显著性为 $P < 0.05$, 与 0.15ppm 处理之间没有显著性差异 ($P > 0.05$). 小麦产量随 SO_2 浓度增高而降低,二者之间存在高度的负相关性. 剂量 (浓度 × 时间)——产量反应关系分析表明,剂量与产量之间的相关系数 $r = -0.983$ ($P < 0.01$, 相关系数有极显著性意义.)

三、小 结

1. 低浓度 SO_2 长期暴露降低了小麦叶片光合色素含量,随暴露时间延长和浓度升高,色素含量降低的比例相应增大,其中 SO_2 对叶绿素 b 的影响大于对叶绿素 a 和类胡萝卜

素的影响.

2. SO_2 明显抑制小麦的生物生长,就干物质积累而言, SO_2 对叶干物质积累的影响大于根和茎. 经 35 天暴露后,在 0.05、0.10、0.15 和 0.20ppm SO_2 浓度作用下,总干物质积累量分别比对照减少 3.2%、10.5%、14.4% 和 17.6%.

3. 低浓度 SO_2 在短时间暴露中对光合色素和生物积累量有一定的促进作用. 暴露 5 天后,各处理的叶绿素 a、b 和类胡萝卜素含量均比对照增加; 0.05ppm SO_2 暴露 15 天后,叶绿素 a 和类胡萝卜素含量仍略高于对照. 0.05ppm 暴露 5 天后,对株高、叶面积和叶干重、根干重等也有促进作用. 随暴露时间延长 (15 天), SO_2 的促进作用消失而代之以抑制.

4. SO_2 对小麦产量有明显的影响, 0.10—0.20ppm SO_2 暴露 45d × 78h 可使盆栽小麦减产 10—20% 以上. 暴露剂量与小麦产量之间呈明显负相关性,相关系数 $r = -0.983$ ($P < 0.01$). 从产量构成因素分析, SO_2 主要抑制小麦籽粒中干物质积累.

5. 本研究就一个小麦品种对低浓度 SO_2 的生态效应作了初步探讨. 还应进一步研究不同作物品种在不同栽培条件下对各种气态污染物的生态效应,才有可能全面准确地进行我国大气污染对农业生态的经济损益分析,为农业大气环境管理、规划和决策提供科学依据. (下转第 58 页)

表 2 湘江水样分析结果 ($\mu\text{g}/100\text{ml}$)

测 得 量					加 入 标 准 量					测得量与回收率(%)				
Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Co	Ni	Cu	Zn	Cd
0.26	1.62	1.25	16.1	0.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.40	3.53	3.46	17.9	2.54
2.6	16.2	12.5	161.0	5.0*						107.0	95.5	110.5	90.0	102.0

* 表示湘江水样中金属离子的含量(ppb)

入 25ml 容量瓶中,用 1mol NaOH 调节酸度至近中性,按(1)显色,测量相应波长处的吸光度。为测定回收率,加入标准金属离子溶液各 $2.00\mu\text{g}$,进行同样的处理与测量。

三、结果与讨论

从图 2 可以看出,钴、镍、铜、锌和镉的络

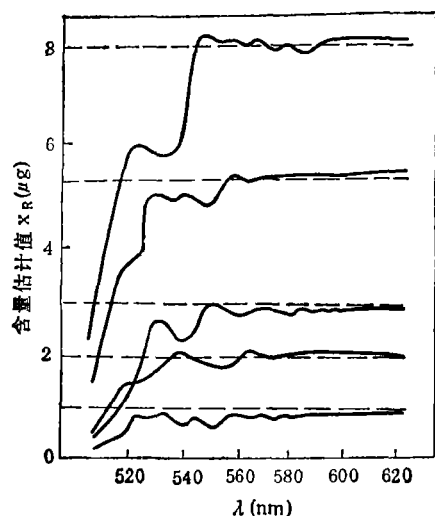


图 3 卡尔曼滤波趋势图。图中虚线代表真实浓度

(上接第26页)

参 考 文 献

- [1] Baker, C. K. et al., *Nature*, **299**, 149—151 (1982).
- [2] Matsuoka, Y., *Special Bulletin of Chiba Experiment Station*, (7), 63 (1978).
- [3] Jäger, H.-J. et al., *Angewandte Botanik*, (54)

合物吸收光谱严重重叠,当它们共存时,无法用常规方法定量。本文利用卡尔曼滤波方法进行计算,结果令人满意(见表 1,表 2),优于共轭梯度法的计算结果^[4]。

图 3 表明估计值 $\hat{X}_k$ 随测量点数 k 或波长 $\lambda_k(\text{nm})$ 的变化规律,当滤波到一定次数时,各组分浓度的估计值 $\hat{X}_k$ 即趋于稳定,这一稳定值即可作为最后的计算结果输出。

本文所提出的卡尔曼滤波分光光度法可以不经分离直接用于钴、镍、铜、锌和镉的同时测定,为多元素的同时分析提供了一条新途径。

参 考 文 献

- [1] 贾沛璋,朱征桃编著,最优估计及其应用,33—50页,科学出版社,北京,1984年。
- [2] Seelig, P. F., Blount, H. N., *Anal. Chem.*, **48**(2), 252 (1976).
- [3] Poullisse, H. N. J., *Anal. Chim. Acta*, **112**, 361 (1979).
- [4] 石乐明,李志良,青年化学,2(1),48(1987).

(收稿日期: 1987 年 11 月 2 日)

- 337—348 (1980).
- [4] 张耀民等,中国环境科学,6(1),36—39(1986).
- [5] 李振国等,植物生理学报,13(1),27—34(1987).
- [6] 舒俭民等,中国环境监测,(2),11—14(1985).
- [7] Bull, J. N. et al., *Nature*, **250**, 443—444 (1974).
- [8] 宋秉彝,北京农业科学,(2),1—20(1984).

(收稿日期: 1987 年 7 月 8 日)