

# 大气干沉降向农田生态系统 输入硫素通量研究\*

胡正义<sup>1</sup> 王体健<sup>2</sup> 曹志洪<sup>1</sup> 李宗恺<sup>2</sup>  
刘崇群<sup>1</sup> 赵言文<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)  
(2 南京大学大气科学系, 南京 210093)

**摘要** 利用气象梯度资料(温度、风速、气压), 计算近地面湍流特征参数( $u_*$ 、 $\theta_*$ 、 $L$ ), 然后采样阻力模式计算  $\text{SO}_2$ 、硫酸盐( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 粒子的干沉降速率( $V_d$ ), 结合  $\text{SO}_2$ 、硫酸盐( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 粒子浓度测量, 建立了大气硫(S)干沉降通量观测方法。在此基础上, 以 1998 年 11 月至 1999 年 4 月中国科学院红壤生态试验站农田小气候观测站气象梯度参数连续自动观测和大气  $\text{SO}_2$ 、硫酸盐  $\text{SO}_4^{2-}$  粒子浓度现场测定研究了该地大气硫干沉降。结果表明, 1998 年 11 月~ 1999 年 4 月非降雨日大气  $\text{SO}_2$  的日平均  $V_d$  为 0.383~ 0.633cm/s(6 个月均值 0.473cm/s), 硫酸盐( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 粒子  $V_d$  为 0.196~ 0.219cm/s(6 个月均值 0.205cm/s); 大气干沉降硫输入通量为  $54.35 \sim 16.32 \text{ kg/hm}^2$ (6 个月均值  $88.73 \text{ kg/hm}^2$ ), 其中 91%~ 98%(6 个月均值 93.1%) 来自于  $\text{SO}_2$  干沉降的贡献。大气干沉降硫输入占大气沉降硫输入总量(干沉降+湿沉降)的 61.9%~ 93.0%(6 个月均值 80.2%)。

**关键词** 硫, 大气硫沉降, 干沉降速率, 阻力模式  
中图分类号 S143

大气沉降是农田生态系统获得硫素的重要途径之一, 包括湿沉降和干沉降<sup>[1]</sup>。湿沉降硫输入通量研究较多<sup>[1, 2]</sup>。国外硫干沉降通量已有报道<sup>[1]</sup>, 国内仅有零星涉及<sup>[3]</sup>。通过气象资料计算污染物干沉降速率( $V_d$ )报道较多<sup>[4-6]</sup>。本研究试图通过大气温度、风速和气压气象梯度参数的连续自动观测数据计算近地面湍流特征参数( $u_*$ 、 $\theta_*$ 、 $L$ ), 然后采用阻力模式计算大气  $\text{SO}_2$ 、硫酸盐( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 粒子干沉降速率( $V_d$ ); 并结合大气  $\text{SO}_2$ 、硫酸盐( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 粒子浓度观测, 来求算大气硫干沉降通量。并以中国科学院红壤生态试验站为研究区域, 研究该地大气沉降硫输入通量, 其结果将为探讨该地硫素循环规律提供依据。

## 1 模式

影响硫素干沉降的因素主要有: 大气状况、下垫面性质和硫素的存在形态<sup>[7]</sup>。为了考虑主要因素对干

\* 国家重点基础研究规划项目(G1999011805)、国家自然科学基金(批准号 49771051)、中科院红壤生态试验站和土壤圈物质循环开放室联合资助

沉降的贡献,本研究用阻力模式计算干沉降速率<sup>[4-6]</sup>。由于硫素在大气中主要以 SO<sub>2</sub> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 二种形态存在,模式将二者分别作不同处理。

### 1.1 SO<sub>2</sub> 干沉降

类似于 SO<sub>2</sub> 等气体的干沉降速率通常可以表示为三种阻力的倒数<sup>[4,6,8]</sup>,即:  $V_d = 1/(R_a + R_b + R_c)$ ; 其中  $R_a$ 、 $R_b$  和  $R_c$  分别代表空气动力学阻力、片层流阻力和下垫面层阻力。 $R_a$  是由大气湍流运动所引起的 SO<sub>2</sub> 由大气输送至近地面附近受到的阻力。根据近地层中污染物的质量输送和类似热量输送的假设,  $R_a$  可以表示为:  $R_a = \frac{\ln(z/Z_0) - \Psi_c}{ku^*}$ ; 其中  $z$  是计算  $V_d$  时选择的参考高度,  $u^*$  是摩擦系数,  $k$  是 Van Karman 常数,约等于 0.4,  $Z_0$  是下垫面的粗糙度长,由局部地形特征经验获得。Wieringa 对不同下垫面的粗糙度长作了总结<sup>[9,10]</sup>。与质量通量有关的稳定度修正函数  $\Psi_c$  取为:

$$\Psi_c = \begin{cases} \ln(1 + Y^2)^2 & (z/L < 0) \\ -5z/L & (z/L > 0) \end{cases}; \text{其中 } Y = (1 - 16Z/L)^{1/4}, L \text{ 是 Monin-obukhov 长度。}$$

$R_b$  是 SO<sub>2</sub> 向地表沉降时经过近地面片层流所受阻力,理论上  $R_b$  是  $Z_0$  和  $u^*$  的函数,即:

$R_b = \frac{\ln(Z_0/Z_c)}{ku^*}$ ; 其中  $Z_c$  是与沉降物输送有关的粗糙度长<sup>[8]</sup>。通常  $Z_c$  很难测定,所以一般对  $R_b$  进行参数化。Wesely 和 Hichs 基于一系列研究,将气体在植被层中沉降的  $R_b$  和 Schmidt 数  $S_c$  (空气动力粘系数  $\nu_a$  与气体分子扩散率  $D_g$  之比) 联系起来,有:  $R_b = \frac{2}{ku^*} S_c^{2/3}$ ; 该方法在实际中受到广泛应用<sup>[7,11]</sup>。

$R_c$  与污染物和接受表面之间的相互作用有关,一般通过间接测量获得。K. Heinke 等人在前人研究基础上给出了不同季节 SO<sub>2</sub> 沉降的表面阻力  $R_c$  范围<sup>[5]</sup>。

### 1.2 硫酸盐(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 粒子干沉降

硫酸盐(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 粒子干沉降类同于 SO<sub>2</sub>, 主要有布朗扩散、惯性碰撞和重力沉降等因素引起。通常认为粒子沉积到表面后没有再悬浮,则表面阻力可以忽略。根据阻力模式硫酸盐粒子干沉降速率可表示为<sup>[6,8]</sup>:  $V_d = 1/(R_a + R_b + R_a R_b V_g) + V_g$ ; 其中  $V_g$  是粒子的重力沉降速率,可用 Stokes 公式计算获得<sup>[12]</sup>。

$V_g = \frac{2r_p^2 g (\rho_p - \rho_a) C_c}{9\eta \rho_a}$ ; 其中  $r_p$ 、 $\rho_p$  分别代表粒子的半径和密度,  $\rho_a$  是空气密度( $1.29 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ ),  $\eta$  为粘滞系数( $0.15 \text{ cm}^2/\text{s}$ ),  $g$  是重力加速度( $980 \text{ cm/s}^2$ ),  $C_c$  是相应于小粒子的 Cunningham 订正因子,  $C_c = 1 + \left(\frac{\lambda}{r_p}\right) \left[ 1.257 + 0.4e^{-1.1\frac{r_p}{\lambda}} \right]$ ;  $\lambda$  代表空气分子的平均自由程,约为  $0.0653 \mu\text{m}$ 。

$$\text{对于 } \text{SO}_4^{2-} \text{ 粒子, } R_b \text{ 采用 Wesely 的研究结果}^{[11]}: R_b = \begin{cases} \frac{1}{0.002 u^*} & (L \geq 0) \\ \frac{1}{0.002 u^* \left[ 1 + \left( -\frac{300}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right]} & (L < 0) \end{cases}$$

当大气处于非常不稳定时( $Z_i/L < -70$ ),强烈的对流运动导致近地层大的阵风,使粒子沉降速率增大。这时在  $R_b$  中引入混合高度  $Z_i$  的影响,即:

$$R_b = \frac{1}{0.002 u^* \left[ 1 + \left( -0.3Z_i/L \right)^{\frac{2}{3}} \right]}$$

$Z_i$  的求法如下:(1)中性大气( $L > 400$ ),  $Z_{i0} = 0.35 u^* / F$ , (2)不稳定大气( $-400 < L < 0$ )。

$Z_i^* = \begin{cases} Z_{i0} & (Z_{i0} > Z_{i2}) \\ Z_{i2} & (Z_{i0} < Z_{i2}) \end{cases}; Z_i = \begin{cases} Z_i^* & (Z_i^* < 3000) \\ 3000 & (Z_i^* > 3000) \end{cases}; \text{其中 } Z_{i2} = Z_{i0}(-u^*/FL)^{(1/2)}, F$

为科氏力常数:  $F = 2 \times 7.29 \times 10^{-5} \sin(W \times P/180)$ ,  $W$  为纬度,  $P = 3.14$ 。

### 1.3 近地层湍流特征参数的求取

计算各种沉降阻力时需要用到近地层湍流特征参数  $u_*$ 、 $\theta_*$  和  $L$ 。本研究根据 Monin-Obukhov 大气近地层相似理论采用气象梯度资料(风速、温度和气压)来计算  $u_*$ 、 $\theta_*$  和  $L$ <sup>[13]</sup>。简述如下: 根据近地层相似理论,  $u_*$  和  $\theta_*$  是风速和位温  $\theta(z)$  的函数<sup>[14]</sup>:

$$u_* = kU(z)/[\ln(Z_1/Z_0) - \Psi_M(z_1/L) + \Psi_M(z_0/L)];$$

$$\theta_* = k[\theta(z_2) - \theta(z_1)]/[\ln(z_2/z_1) - \Psi_H(z_2/L) + \Psi_H(z_1/L)].$$

这里  $U(z)$  是风速, 位温  $\theta(z) = T(z)(1000/p(z))^{(R/C_p)}$ ; 其中  $T(z)$  是绝对温度(K),  $\rho(z)$  是气压(hPa, 即 100Pa),  $C_p$  是空气比热( $1005 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ),  $R$  为干空气气体常数( $287.3 \text{ J kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )。  $\Psi_M$  是离表面层高度  $z_1$ 、 $z_2$  处稳定度修正函数。  $\Psi_M$  和  $\Psi_H$  分别由下式获得<sup>[9, 10]</sup>:

$$\text{当 } L < 0 \text{ 时, } \Psi_M = 2 \ln \left[ \frac{1+x}{2} \right] + \ln \left[ \frac{1+x^2}{2} \right] - 2 \tan^{-1}(x) + \frac{\pi}{2}$$

$$\Psi_H = 2 \ln \left[ \frac{1+y^2}{2} \right]; \text{ 其中 } x = (1 - 16z/L)^{1/4};$$

当  $L > 0$  时,  $\Psi_M = \Psi_H = -5z/L$ 。

根据大气边界层参数 Monin-Obukhov 长度  $L$  的定义,  $L$  表示为<sup>[13]</sup>,  $L = \frac{u_*^2}{kg\theta^*/T(z)}$ 。

在明了  $u_*$ 、 $\theta_*$  和  $L$  之间函数关系后, 通过迭代方法求解  $u_*$ 、 $\theta_*$  和  $L$  值<sup>[13]</sup>。

## 2 实验观测

### 2.1 实验场地的选择

本研究在中国科学院红壤生态试验站农田小气候分站进行。观测时间为 1998 年 11 月至 1999 年 4 月, 共观测 6 个月。下垫面为油菜。农田小气候观测塔高度为 5.5m。在 5.0、3.5、2.0 和 1.0m 高度处分别安装有风速、温度等自动记录传感器。

### 2.2 所需气象参数的观测和仪器

采集 5.0、2.0 和 1.0m 高度处温度、气压和 2.0m 处风速用于计算近地面湍流特征参数  $u_*$ 、 $\theta_*$  和  $L$ 。VF-2 型磁悬浮微风传感器测风速, HTF-2 型电动通风干湿表温湿传感器测温度。ZGIV 型振荡气压传感器测气压。数据用 DT-500 型智能数据采集器采集。

### 2.3 大气 $\text{SO}_2$ 和硫酸盐( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 粒子浓度观测

大气  $\text{SO}_2$  用多孔玻板吸收瓶采集(吸收液为 pH4.5, 浓度为 0.3% 双氧水)。每月采 3~7 天, 每天采 3~8 次, 每次采集时间 1~4 小时, 采样速度 0.3~0.8L/min。大气中硫酸盐( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 粒子浓度用超细玻璃纤维滤膜(孔径不大于 0.1 $\mu\text{m}$ ) 采集, 一个月采样 2 次, 采样速度 100L/min。滤膜中  $\text{SO}_4^{2-}$  用 0.5N HCl 浸提。吸收液和浸提液中硫均用 ICP-AES 分析。

### 2.4 数据处理

根据观测时期油菜植株高度并参见 Wieringa 研究结果<sup>[9, 10]</sup>, 1998 年 11 月、1999 年 2 月、3 月和 4 月下垫面粗糙度长  $Z_0$  分别按 0.03m、0.1m 和 0.25m 计算。根据 Heinke 研究结果<sup>[5]</sup>,  $\text{SO}_2$  沉降表面阻力  $R_s$  按 100s/cm 计。气象梯度资料每 1 小时自动采集一次, 据此每一小时计算一次  $\text{SO}_2$  和硫酸盐( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 粒子  $V_d$ 。以 24 小时内  $V_d$  算术平均值获得  $V_d$  时日均值(简称时均值)。由时平均  $V_d$  值的算术平均获得日月平均  $V_d$  值(简称日均值)。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 $\text{SO}_2$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ 粒子干沉降速率

国外用微气象方法测定下垫面小麦, 离地面 1m 处  $\text{SO}_2$  干沉降速率为  $0.1 \sim 1.5 \text{ cm/s}^{[15]}$ 。国内用阻力模式计算冬季农业区离地面 20m 处  $\text{SO}_2$  干沉降速率为  $0.40 \sim 0.76 \text{ cm/s}^{[6]}$ 。本研究用阻力模式计算获得的下垫面油菜, 离地面 2m 处日均  $\text{SO}_2$  干沉降速率的月变化如图 1。由图 1 和表 1 可见, 1998 年 11 月~ 1999 年 4 月期间, 6 个月时均沉降速率依次分别为  $0.195 \sim 0.672 \text{ cm/s}$  (日均值  $0.383 \pm 0.3 \text{ cm/s}$ )、 $0.16 \sim 0.76 \text{ cm/s}$  (日均值  $0.426 \pm 0.17 \text{ cm/s}$ )、 $0.21 \sim 0.694 \text{ cm/s}$  (日均值  $0.452 \pm 0.144 \text{ cm/s}$ )、 $0.244 \sim 0.76 \text{ cm/s}$  (日均值  $0.402 \pm 0.143 \text{ cm/s}$ )、 $0.355 \sim 0.793 \text{ cm/s}$  (日均值  $0.627 \pm 0.117 \text{ cm/s}$ ) 和  $0.205 \sim 0.829 \text{ cm/s}$  (日均值  $0.601 \pm 0.167 \text{ cm/s}$ )。可见本研究结果与国内报道基本一致。

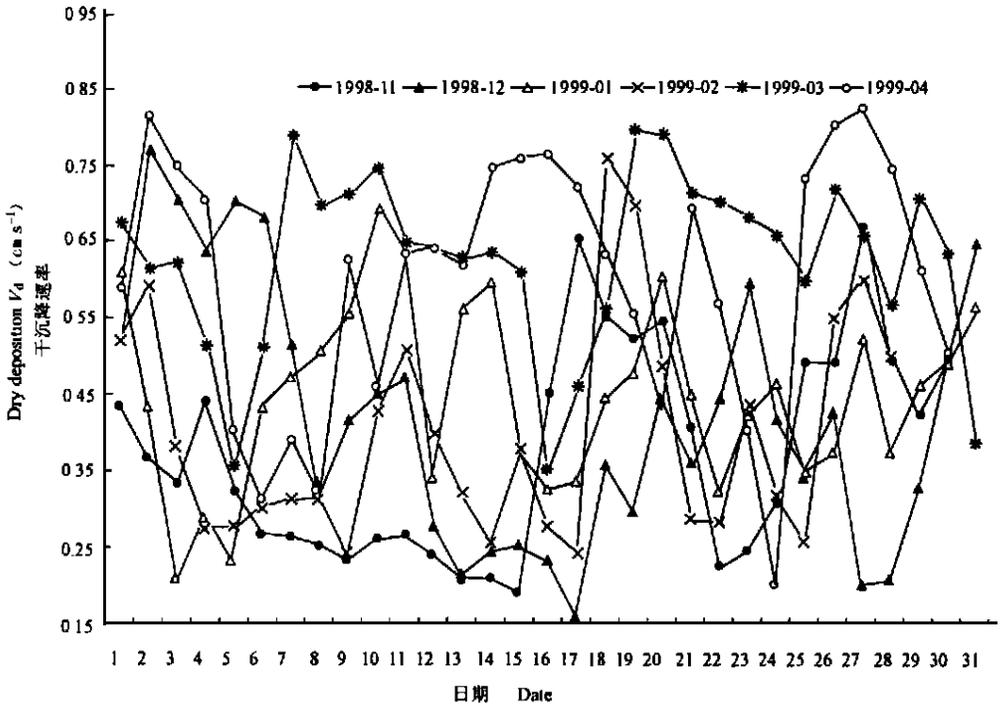


图 1  $\text{SO}_2$  干沉降速率 ( $V_d$ ) 日平均值的月变化

Fig. 1 Monthly variation in the daily mean  $V_d$  of  $\text{SO}_2$  deposition

前人研究结果表明大气中不同粒径颗粒物都有  $\text{SO}_4^{2-}$  分布<sup>[16]</sup>。并发现直径小于  $2\mu\text{m}$  的细粒子含有大量硫酸盐<sup>[17]</sup>。本研究分别计算  $0.1$ 、 $2$  和  $10\mu\text{m}$  粒径干沉降速率后, 再用三个粒径硫酸盐粒子干沉降速率平均值表示大气硫酸盐粒子平均干沉降速率。由图 2 和表 1 可见, 1998 年 11 月~ 1999 年 4 月, 6 个月大气硫酸盐粒子时均干沉降速率依次分别为  $0.125 \sim 0.269 \text{ cm/s}$  (日均值  $0.197 \pm 0.035 \text{ cm/s}$ )、 $0.137 \sim 0.286 \text{ cm/s}$  (日均值

0.201 ± 0.031 cm/s)、0.148~ 0.273 cm/s(日均值 0.196 ± 0.036 cm/s)、0.136~ 0.317 cm/s(日均值 0.210 ± 0.0435 cm/s)、0.130~ 0.302 cm/s(日均值 0.202 ± 0.042 cm/s) 和 0.134~ 0.259 cm/s(日均值 0.191 ± 0.034 cm/s)。本观测值与国内报道结果(0.05~ 0.2 cm/s)一致, 似乎小于国外下垫面为草地结果(0.45 ± 0.31 cm/s)<sup>[6]</sup>。

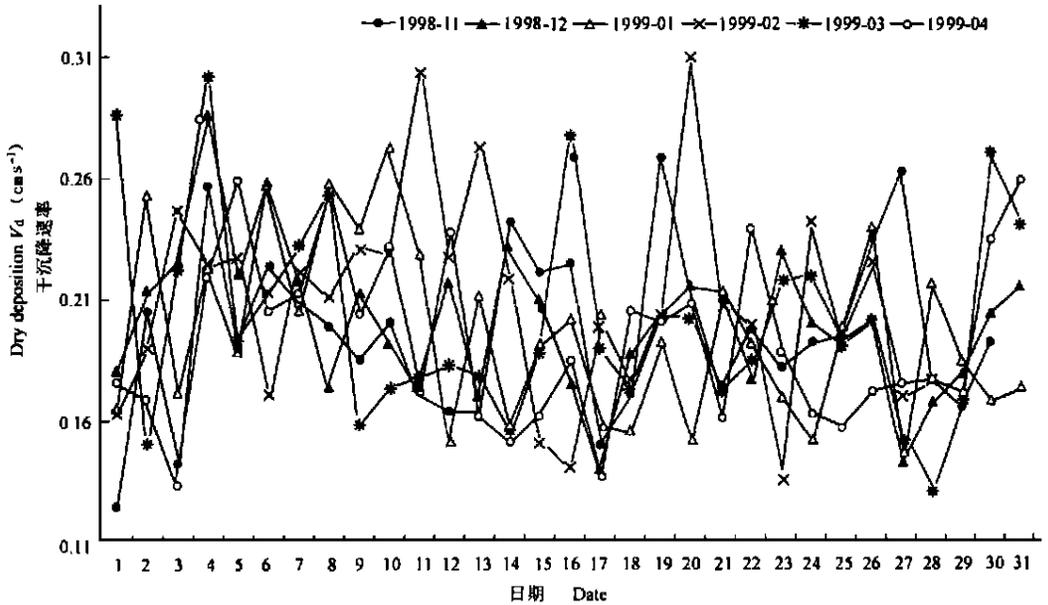


图 2 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 粒子沉降速率( V<sub>d</sub>)日平均值的月变化

Fig. 2 Monthly variation in the daily mean V<sub>d</sub> of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> particle deposition

表 1 1998 年 11 月~ 1999 年 4 月大气干沉降向农田生态系统输入硫通量<sup>1)</sup>

Table 1 S input via atmospheric deposition into agroecosystem from Nov., 1998 to April, 1999

月份 Months (YY- MM)	非降雨天 数 Days without rainfall (d/月)	SO <sub>2</sub>			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			硫干沉降总量 Total S input via dry deposition (S kg/ hm <sup>2</sup> )
		V <sub>d</sub> (cm/s)	浓度 Conc. (S mg/m <sup>3</sup> )	硫输入 S input (S kg/ hm <sup>2</sup> )	V <sub>d</sub> (cm/s)	浓度 Conc. (S μg/m <sup>3</sup> )	硫输入 S input (S kg/ hm <sup>2</sup> )	
1998- 11	30	0.383 ± 0.13	0.06	5.96(91.1 <sup>*</sup> )	0.191 ± 0.03	11.75	0.58	6.54
1998- 12	26	0.437 ± 0.17	0.163	16.0(98.1)	0.202 ± 0.03	6.78	0.32	16.32
1999- 01	21	0.444 ± 0.13	0.155	12.49(91.5)	0.209 ± 0.03	30.43	1.15	13.64
1999- 02	23	0.374 ± 0.12	0.065	4.83(93.2)	0.219 ± 0.04	7.97	0.35	5.18
1999- 03	21	0.633 ± 0.12	0.053	6.09(95.6)	0.208 ± 0.04	7.38	0.28	6.37
1999- 04	14	0.565 ± 0.15	0.072	4.20(96.5)	0.203 ± 0.02	6.19	0.15	4.35
合计		0.473		49.57(94.5)	0.205		2.83	52.4

1) SO<sub>2</sub> 干沉降占大气干沉降硫输入总量(SO<sub>2</sub> 干沉降+ SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 粒子干沉降)百分数。Percentage of S input via SO<sub>2</sub> dry deposition in total S input via atmospheric dry deposition (SO<sub>2</sub>+ SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> particle dry deposition)

### 3.2 大气 SO<sub>2</sub> 和颗粒物中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 浓度

1998 年 11 月~ 1999 年 4 月大气 SO<sub>2</sub>- S 日均值为 S 0.060~ 0.163mg/m<sup>3</sup>(表 1), 其大小处于 1994 年江西省大气 SO<sub>2</sub>- S 年日平均浓度范围之内<sup>[2]</sup>。1998 年 11 月~ 1999 年 4 月大气硫酸盐粒子中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - S 浓度分别为 S 6.19~ 30.43μg/m<sup>3</sup>(表 1)。

### 3.3 SO<sub>2</sub> 和硫酸盐(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 粒子干沉降通量

由于雨水洗脱作用, 雨天大气 SO<sub>2</sub> 和硫酸盐粒子浓度应该较小。因此, 本研究中雨天不计干沉降。根据每个月晴天数, SO<sub>2</sub>(硫酸盐粒子) 干沉降速率日均值、SO<sub>2</sub>(硫酸盐粒子) 平均浓度计算得 SO<sub>2</sub>(硫酸盐粒子) 干沉降通量。由表 2 可见, 1998 年 11 月~ 1999 年 4 月期间每月 SO<sub>2</sub> 形式向农田生态系统沉降的硫分别为 4.20~ 16.0kg/hm<sup>2</sup>; 而同期以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 粒子形式向农田生态系统输入的硫为 0.15~ 1.15kg/m<sup>2</sup>。每个月大气干沉降硫输入总量为 4.35~ 16.32kg/hm<sup>2</sup>, 其中 91.1%~ 98.1% 来自 SO<sub>2</sub> 干沉降的贡献。

表 2 1998 年 11 月~ 1999 年 4 月湿沉降向农田生态系统输入硫通量

Table 2 S input via atmospheric wet deposition into agroecosystem from Nov., 1998 to April, 1999

月份 Months (YY-MM)	月降雨量 Precipitation per month		雨水硫平均浓度(S mg/L) Mean concentration of S in rainwater	硫沉降量 S input (S kg/hm <sup>2</sup> )
	mm	t/hm <sup>2</sup>		
1998-11	9.4	94	7.766	0.73
1998-12	76.5	765	1.608	1.23
1999-01	67.2	672	2.887	1.94
1999-02	48.1	481	0.915	0.44
1999-03	79.6	796	4.648	3.70
1999-04	401	4100	0.668	2.68
合计	681.8	6908		10.72

### 3.4 大气干沉降硫输入对大气总沉降硫输入贡献

由表 2 可见, 1998 年 11 月~ 1999 年 4 月期间, 每个月以湿沉降(降雨) 向农田生态系统输入硫为 0.44~ 3.7kg/hm<sup>2</sup>。大气沉降硫输入总量为 5.61~ 17.53kg/hm<sup>2</sup>, 干沉降 S 输入占大气总沉降 S 输入 62.9%~ 93.0%(表 3)。

表 3 干沉降硫输入占大气沉降硫输入总量的百分数

Table 3 Percentage of S input via dry deposition in total S input via atmospheric deposition

月份 Months	大气沉降硫输入总量(S kg/hm <sup>2</sup> ) Total S input via atmospheric deposition	干沉降硫输入占大气沉降硫输入总量的百分数 Percentage of S input via dry deposition in total S input
98.11	7.27	90.0
98.12	17.53	93.0
99.01	15.59	87.5
99.02	5.61	92.2
99.03	10.07	63.3
99.04	7.03	62.9
合计/平均	63.12	83.0

气总沉降硫输入 25%~75%<sup>[1]</sup>。结果不完全一致原因是观测期间头 4 个月雨水偏少, 4 个月累计降雨量仅 200mm(表 2), 而一般年份该地占年降雨量在 1200~2500mm<sup>[18]</sup>。可见, 干沉降硫输入对农田生态系统硫循环影响很大, 特别是降雨较少的月份。

### 参 考 文 献

1. Fowler D. Field methods for determining the atmospheric inputs of major plant nutrients. In: Harrison A F, ed. Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems. London and New York, U. K: Elsevier Applied Science, 1989. 1~74
2. 陈志远, 刘志容. 中国酸雨研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 250~258
3. 陈攀江. 四川盆地硫沉降及硫平衡. 见: 国家环保局编. 大气污染防治技术研究. 北京: 科学出版社, 1993. 640~645
4. Voldner E C, Barrie L A, Sirois A. A literature review of dry deposition of oxides of sulphur and nitrogen with emphasis on long-range transport modeling in North-America. Atmospheric Environment, 1986, 20(11): 2101~2123
5. Heinke Schlunzen K, Silke Pahl. Modification of dry deposition a developing sea-breeze circulation-a numerical case study. Atmospheric Environment, 1992, 26A(1): 51~61
6. 王体健, 李宗恺. 一种污染物的区域干沉降速率分布的计算方法. 南京大学学报, 1994, 30(4): 745~751
7. George A S. Particle and gas dry deposition: a review. Atmospheric Environ., 1980, 14(9): 983~1011
8. Hick B B et al. A preliminary multiple resistance routine for deriving dry deposition velocities from measured quantities. Water, Air and Soil Pollution, 1987, 36: 311~330
9. Wieringa J. A reevaluation of the Kansas mast influence on measurements of stress and cup-anemometer overspeeding Boundary-layer Meteorol. Soc., 1980, 18: 411~430
10. Wieringa J. Representativeness of wind observation at airports. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1980, 51: 962~971
11. Wesely M L. Measurements and parameterization of particulate sulfur dry deposition over grass. J. Geophys. Res., 1985, 90: 2131~2143
12. Yamartino R J, Scire J S. Parameterization of surface resistance to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. Atmospheric Environ., 1992, 26A(8): 1493~1512
13. Van Ulden A P, Holtslag A A M. Estimation of atmospheric boundary layer parameters for diffusion applications. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1985, 24: 1196~1207
14. McBean G A. The Planetary Boundary Layer. Tech. Note No. 165, New York: WMO530. 1979. 201
15. Fowler D. Dry deposition of SO<sub>2</sub> on agricultural crops. Atmospheric Environment, 1978, 12: 369~373
16. 张小曳, 安藏生. 中国内陆大气颗粒物的搬运、沉降及反应的气候变化. 中国科学(B), 1994, 24(11): 1206~1215
17. 洪钟强, 周乐义等. 气溶胶粒子干沉降速率的测量. 大气科学, 1987, 11(2): 138~144
18. 赵其国, 石华, 吴志东. 红壤地区农业资源综合发展战略与对策. 见: 中国科学院红壤生态试验站编. 红壤生态系统研究(第一集). 北京: 科学出版社, 1992. 1~13

## STUDY ON S INPUT VIA ATMOSPHERIC DRY DEPOSITION INTO AGROECOSYSTEM

Hu Zheng-yi<sup>1</sup> Wang Ti-jian<sup>2</sup> Cao Zhi-hong<sup>1</sup> Li Zong-kai<sup>2</sup>

Liu Chong-qun<sup>1</sup> Zhao Yan-wen<sup>1</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008*)

(2 *Nanjing University, Nanjing 210093*)

### Summary

A method was found for calculating S input via atmospheric dry deposition. It consists of a series of calculation equations for surface layer turbulence characteristic parameters ( $u^*$ ,  $\theta^*$ ,  $L$ ) based on profile meteorological data, for  $V_d$  of  $\text{SO}_2$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  particle dry deposition by making use of the resistance model, for S concentration of the atmospheric  $\text{SO}_2$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  particles, and thereupon for the targeted result. Experiments based on such a method were carried out in the Experiment Station of Red Soil Ecology, Yingtan, Jiangxi, Chinese Academy of Sciences and data collected at the experiment substation of farmland microclimate from Nov. 1998 to April 1999. Results indicated that  $V_d$  of  $\text{SO}_2$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  particle was 0.383~0.633cm/s (monthly mean 0.473cm/s), and 0.196~0.219cm/s (monthly mean 0.205cm/s) respectively; total S input via atmospheric dry deposition per month was 4.35~16.32kg/m<sup>2</sup> (av. 8.73kg/m<sup>2</sup>), of which 91%~98% (av. 94.5%) was of  $\text{SO}_2$  dry deposition. Total S input via atmospheric dry and wet deposition per month was 7.03~17.53kg/m<sup>2</sup> (av. 10.51kg/m<sup>2</sup>), of which 61.9%~93.0% (av. 80.2%) was of S input via atmospheric dry deposition.

**Key words** Sulphur, Atmospheric S deposition, Dry deposition velocity, Resistance model