

# 广州市流溪河降水离子浓度与电导率关系

周光益<sup>1,2</sup>, 田大伦<sup>1</sup>, 邱治军<sup>2</sup>, 王旭<sup>2</sup>, 杨松<sup>2</sup>, 刘敏<sup>2</sup>

1. 中南林业科技大学, 长沙 410004

2. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520

**【摘要】** 通过对2006年7月~2008年5月在流溪河地区采集的106次降水水样(雨量范围0.7~268.6 mm)进行化学测试,研究了降水中几类主要离子含量与电导率的关系。结果显示:(1)通过各化学离子含量计算的电导率与对应实测的电导率之间存在-2.94%的平均相对误差。(2) $H^+$ 离子浓度与电导率之间的相关关系,在水样中 $pH < 5.6$ 时是正相关,在水样中 $pH \geq 5.6$ 时呈现负相关规律。(3)电导率随离子总浓度的增加而增加,但当水样的总离子浓度相同或者 $H^+$ 和总离子浓度相同时,由于样品之间存在显著的其他化学组成差异,致使电导率的不一样。(4)将水样分成 $pH \geq 5.6$ 和 $pH < 5.6$ 的两组后,每组中各离子浓度与电导率之间存在更好的回归关系,因此可以通过 $pH$ 值、电导率的测定并利用回归方程来预测水中的其他化学成分含量。

**关键词:** 流溪河; 酸雨; 化学组成; 电导率

doi:10.3969/j.issn. 1008-8873.2009.05.017

中图分类号: X517

文献标识码: A

文章编号: 1008-8873(2009)05-465-06

## Relationships between electrical conductivity and main ions' concentration in rainwater at Liuxihe, Guangzhou

ZHOU Guang-yi<sup>1,2</sup>, TIAN Da-lun<sup>1</sup>, Qiu Zhi-jun<sup>2</sup>, Wang Xu<sup>2</sup>, YANG Song<sup>2</sup>, LIU Min<sup>2</sup>

1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

2. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, China

**Abstract:** By the monitoring and chemical analysis of wet deposition at Liuxihe, Guangzhou, 106 rainwater samples with rainfall depth from 0.7 mm to 268.6 mm were collected and tested during the period from July, 2006 to May, 2008. The relationship between electrical conductivity (EC) and main ions' concentration in the precipitation was studied and discussed in this paper. The results indicated that: (1) Mean relative error between the measured data and the calculated data of EC was -2.94%. (2) The positive correlation between concentration of  $H^+$  and EC was found in the rainwater with  $pH < 5.6$  and the negative correlation occurred in the rainwater with  $pH \geq 5.6$ . (3) EC increased with the increase of total ions concentration, nevertheless, when the  $H^+$  concentration and the total ions concentration were the same, there were also obvious EC differences among the rainwater samples due to significant differences of chemical components. (4) After dividing rainwater into two groups ( $pH < 5.6$  and  $pH \geq 5.6$ ), there existed better relations between EC and ion concentrations, so the concentrations of some ions can be calculated or forecasted by the regression functions and the measured  $pH$  value and EC.

**Key words:** Liuxihe; acid rain; chemical composition; electrical conductivity

收稿日期: 2009-01-27 收稿, 2009-09-19 接受

基金项目: 科技部国际合作项目(2007DFA31070); 广州市林业局项目(流溪河水源林生态水文功能与效益监测研究)

作者简介: 周光益(1964-), 男, 汉族, 湖南新宁人, 博士研究生, 研究员, 主要研究领域为流域生态水文学、恢复生态学和环境科学。

\*通讯作者, E-mail: guangyiz@sti.gd.cn

1 引言 (Introduction)

流溪河林区是广州北部重要生态保护屏障,广州市 60%的工农业生产和居民生活用水来源于流溪河;该区域没有严重的点源污染,但仍存在酸雨污染<sup>a)</sup>;酸雨对陆地及水生生态系统的影响已成为全球范围的重大环境问题,在国内外引起了人们的高度重视<sup>[1~8]</sup>;那么酸雨污染物对该地重要水源地的水质影响如何?不同森林对酸雨污染的净化能力是否存在差异?等等问题都不清楚,这需要对该地降水和径流水等进行长期的水化学监测,而进行较全面的水化学监测比较复杂且需要大量费用。为此,通过本研究旨在分析流溪河地区降水化学成分与电导率关系,试图通过简单的pH值和电导率的测定来预测水中的其他化学成分含量,为该地森林生态系统长期的水质监测提供新手段。研究成果为进行城市森林生态系统与环境的互动关系研究、水源林保护等提供背景性资料,同时可为林业、环境保护等部门制定相关决策提供科学依据。

2 研究地概况 (Research site)

研究地为流溪河国家森林公园,位于广州市北部、北回归线附近(113°45'~113°54'E, 23°32'~23°50'N),与从化良口镇、吕田镇毗邻,距广州 93km,是我国首批兴建的十大森林公园之一,流溪河也是广州市的“母亲河”,境内的流溪湖面积 1 466hm<sup>2</sup>。根据《广州市流溪河水源涵养林保护管理规定》:明确了“流溪河水源林,是指在流溪河水源林保护范围内起涵养水源,净化水质作用的森林、林木、林地”。该区为低山地形,山脉主要为东北、西南走向,东部地势峻峭,山体较为密集,坡度多在 35°~45°之间,局部高达 80°;最高海拔为 1188.7 m,西北部地势较为平缓,一般坡度在 20°~30°。本地区的成土母岩多为花岗岩,部分是石英和片状页岩。东南部为轻沙黄壤,土层较为肥厚,西部多为粗砂砖红壤,土层浅薄,肥力较差,土层厚度一般 0.6~1.0 m,有机质为 7~25 cm,土壤偏酸性,pH 值 5~7,个别强酸性反应,pH 值为 4.4~5.4。该区域主要森林类型有季风常绿阔叶林、针阔叶混交林、毛竹林、经济林。该地气候为亚热带季风气候,年平均相对湿度在 80% 以上,年总辐射量为

99.8 cal·mm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>,年平均气温为 20.3℃,极端高温为 39.2℃,极端低温为零下 1.5℃,年积温 7413.4℃,年降水量为 2143.8mm,且主要集中在雨季(4~9 月)。

3 研究方法 (Methods)

3.1 降雨量测定和和水样采集

降雨量是在流溪河附近区域的空旷地设置一个自记仪器(HOBO 自记雨量计)测定,同时在空旷地布设 2 个干净的内径约 40 cm 的塑料敞口大盆或桶(离地面 70 cm 高),用人工手动采集林外雨水样品(将各收集器水样混合);采样之前,桶先用自来水清洁,再用蒸馏水清洗,清洗至桶内蒸馏水电导率为 ~2μS·cm<sup>-1</sup>。样品采集于事先准备好干净的 500 mL 聚乙烯瓶内,采样瓶采样之前再用要取的雨水水样冲洗 2-3 次。样品采集并现场测 pH 值和电导率后,立即送实验室进行分析。

3.2 化学测定和计算

雨水样品pH使用Thermo ORION公司的野外便携式pH计野外测量;电导率用DDS—11A型电导率仪测定;化学测定前均过0.45 μm的过滤膜,阳离子(Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> 等)均通过电感耦合等离子体色谱测定(ICP-OES;产地:美国瓦里安;型号: Varian Vista-MPX);6种阴离子(F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)均过0.45 μm的过滤膜后通过离子色谱(Ion Chromatography)测定(产地:美国戴安,型号:ICS-90);NH<sub>4</sub><sup>+</sup>测定用靛酚蓝比色法测定。H<sup>+</sup>浓度通过pH计算获得,即:  $pH = -\log_{10} [H^+] \Rightarrow [H^+] = 10^{-pH}$ 。计算的

电导率通过公式  $EC = \sum_{i=1}^n \lambda_i C_i$  计算<sup>[2]</sup>,式中EC为计算的电导率(μS·cm<sup>-1</sup>),λ<sub>i</sub>为当量导电性(ks·cm<sup>2</sup>·eq<sup>-1</sup>),C<sub>i</sub>为离子浓度(μeq·L<sup>-1</sup>);如果离子强度(Is)大于0.1 meqL<sup>-1</sup>并低于0.5 meqL<sup>-1</sup>时,也可以按照Stumm和Morgen (1981)等的方法进行Davies修正<sup>[2,9]</sup>:

$$Is = 0.5 \sum_{i=1}^n Mi Z_i^2 / w_i$$
$$y = 10^{-0.5 \left\{ \frac{\sqrt{Is}}{1 + \sqrt{Is}} - 0.3 Is \right\}}$$
$$EC_{corr} = y^2 \sum_{i=1}^n \lambda_i C_i$$

a) 周光益,田大伦,邱治军等.广州流溪河降水化学成分及其海洋源分析.生态学报, 2009, 29 (9): (待刊)

式中,  $Z_i$  为某离子电荷数绝对值,  $M_i$  为某离子浓度( $\text{mgL}^{-1}$ ),  $y^2$  为 Davies 修正系数,  $\text{EC}_{\text{corr}}$  为计算修正的电导率。

4 结果与分析 (Results and analysis)

4.1 降水实测电导率与计算电导率差异分析

电导或电导率是指物质的传电能力, 是衡量水溶液携带电流能力的度量值, 这个能力与离子的类型、浓度等有关。水的电导率定义为在特定温度下单位体积电阻率的倒数<sup>[10-11]</sup>。天然水的电导率一般小于 1mS (毫西门子), 常用微西门子 ( $\mu\text{S}$ ) 表示, 习惯上水溶液电导单位写为  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。研究期间共采集了 106 次降雨水样 (雨量范围 0.7~268.6 mm), 不同降雨量级 (<1.0、1~5、5~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~80、>80 mm) 的取样次数分别为 1、9、21、21、19、8、7、4、10、6 次。通过分析后, 发现有较好的离子平衡结果<sup>a)</sup>, 总阴离子 ( $\Sigma\text{An}$ ) 和总阳离子 ( $\Sigma\text{Cat}$ ) 的当量浓度比值 ( $\Sigma\text{An}/\Sigma\text{Cat}$ ) 绝大多数在  $1\pm0.25$  范围内, 研究认为, 如果阴阳离子比值波动范围在  $1\pm0.25$ , 那么通常就认为数据是比较可靠的<sup>[12]</sup>。

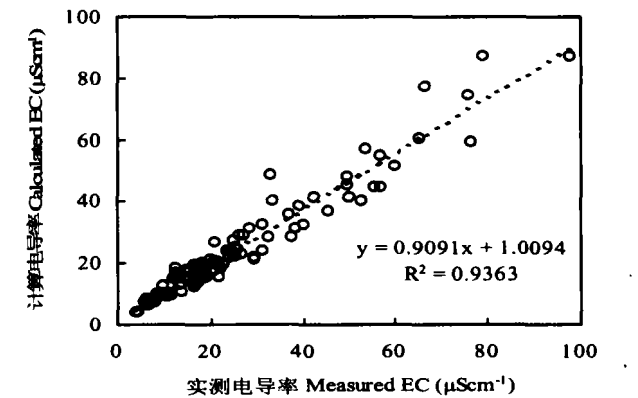


图 1 流溪河降雨的计算电导率和实测电导率  
Figure 1 Calculated EC and measured EC of rainwater at Liuxihe

利用实测离子浓度和各离子当量导电性数据<sup>[1]</sup> (25℃ 时,  $\text{H}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$  分别为 0.3500、0.0735、0.0595、0.0531、0.0501、0.0735、0.0800、0.0714、0.0764、0.0544  $\text{ks cm}^2\text{eq}^{-1}$ ; 而  $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  等离子当量导电性没有可查数据, 用除  $\text{H}^+$  以外的其他离子的平均值代替), 根据前述的方法可获得 106 个计算的电导率 EC (部分修正), 与对应实测的电导率 CM 相比较 (图 1), 两者存在较好的相关性

( $R^2=0.9363$ ), 平均相对误差为 -2.94%。

4.2 不同离子成分与电导率关系比较

图 2 显示流溪河降水水样中总离子浓度 ( $\Sigma\text{Ion}$ ) 与实测电导率存在较好的回归关系, 电导率随离子总浓度的增加而增加, 但是总离子浓度与电导率关系在  $\text{pH}\geq 5.6$  和  $\text{pH}<5.6$  的水样中存在一些差异。

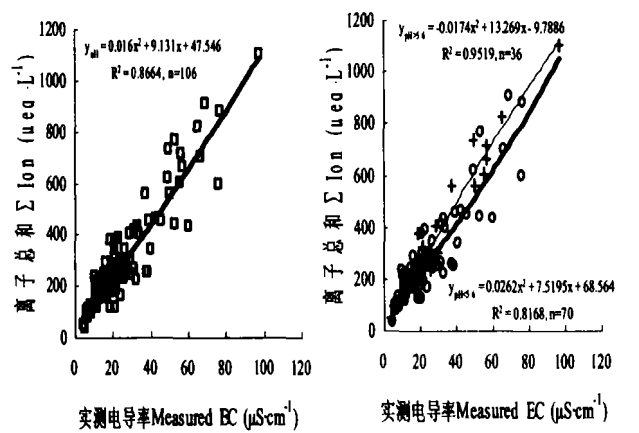


图 2 降水电导率与离子总浓度之间的关系  
(— □ — 全部样品; — + —  $\text{pH}\geq 5.6$ ; — ○ —  $\text{pH}<5.6$ )  
Figure 2 Correlation between EC and sum of ion concentration in rainwater  
(— □ — all samples; — + —  $\text{pH}\geq 5.6$ ; — ○ —  $\text{pH}<5.6$ )

流溪河单次降雨各主要离子浓度与电导率的比较发现 (表 1):

- (1) 在总离子浓度相同 (近) 时,  $\text{H}^+$  浓度大 ( $\text{pH}$  值小) 的水样, 其电导率明显大于  $\text{H}^+$  浓度小的水样 (如表 1 中 1 号样与 2 号样、3 号样与 4 号样、5 号样与 6 号样、7 号样与 8 号样、9 号样与 10 号样的比较), 这是因为如前所述  $\text{H}^+$  离子的当量导电性比其他离子更高。
- (2) 虽然  $\text{H}^+$  离子的当量浓度对电导率影响大, 但是在相同  $\text{H}^+$  离子浓度时, 离子总浓度大的水样其电导率也大 (如表 1 中 11 号样与 12 号样、13 号样与 14 号样、15 号样与 16 号样、17 号样与 18 号样的比较), 说明其他离子同样影响着电导率。
- (3) 在相同 (近)  $\text{H}^+$  离子浓度且离子总浓度相同 (近) 时, 由于各离子所占比例不同而引起电导率差异。比如, 19 号水样虽然  $\text{Ca}^{2+}$  的含量是 20 号水样的近 8 倍, 但 20 号水样中含有较高的  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  等离子, 所以 20 号水样的电导率比 19 号水样的高许多, 21 号样与 22 号样、3 号样与 23 号样的比较也得出相似的

表 1 流溪河单次降雨各主要离子浓度与电导率

Table 1 Concentration of main ions and EC in single rainfall events at Liuxihe

编号 电导率 EC		各主要离子浓度 Concentration of main ions (μeq·L <sup>-1</sup> )									
No.	(μS·cm <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Σ Ion
1	11.62	11.89	8.58	40.92	22.30	15.41	1.91	3.03	11.19	2.75	118.7
2	20.70	8.08	19.40	42.04	14.66	2.54	1.55	1.28	2.17	29.51	121.9
3	12.53	13.02	14.85	57.53	54.14	8.29	0.97	1.54	11.19	5.01	172.3
4	23.90	11.15	26.37	39.90	16.89	13.54	3.64	4.91	11.72	38.02	166.5
5	14.43	18.80	28.90	48.50	53.77	5.80	1.28	4.09	11.19	4.27	178.4
6	20.00	13.88	17.69	55.67	18.85	19.77	3.78	3.67	2.17	30.20	176.5
7	17.58	23.78	33.29	79.84	41.98	14.13	2.09	1.84	19.58	5.25	226.0
8	32.60	21.69	17.91	72.19	51.32	1.75	0.14	0.41	13.98	41.69	223.0
9	39.20	28.31	83.53	177.58	92.10	36.57	4.57	6.44	13.98	3.16	454.6
10	45.50	11.80	58.73	127.31	41.73	65.39	8.39	7.53	4.19	125.89	452.3
11	33.40	13.69	47.17	120.43	83.82	55.79	5.11	12.63	12.68	41.69	398.9
12	18.40	39.40	31.62	43.92	13.54	18.42	2.04	2.51	12.57	41.69	207.6
13	42.30	22.54	82.43	142.05	96.95	42.29	3.27	6.47	19.58	23.99	461.3
14	20.9	22.47	54.41	134.47	16.27	79.05	2.64	3.15	30.09	22.39	375.0
15	13.54	15.39	16.94	53.03	32.60	15.73	5.34	0.51	12.59	3.39	160.0
16	5.95	13.66	3.03	31.06	11.94	3.22	8.56	0.79	11.19	3.31	91.5
17	56.7	28.21	29.03	131.98	63.10	331.66	9.20	11.34	22.50	1.62	660.8
18	3.90	8.49	3.23	8.91	0.07	18.96	0.72	2.53	2.17	1.62	49.7
19	16.3	37.16	27.08	37.68	21.83	88.27	4.20	9.08	2.66	35.48	289.2
20	25.60	62.10	31.49	66.13	38.25	12.68	5.05	7.53	33.51	31.62	295.8
21	19.2	29.57	9.64	80.74	32.70	33.74	4.45	8.12	5.18	35.48	262.9
22	37.50	8.30	39.31	88.38	51.11	16.48	2.33	5.02	2.17	33.88	255.3
23	21.70	12.90	25.36	84.15	24.49	17.49	1.25	2.51	11.19	5.37	188.8

规律；说明尽管水样的 H<sup>+</sup>和总离子浓度相同，但样品之间存在显著的化学组成差异，致使电导率的不同。

4.3 不同雨水酸度下电导率与各离子含量回归关系

如用 pH 值 (H<sup>+</sup>) 表示雨水酸度，则从图 3 看出：  
(1)H<sup>+</sup>离子浓度与电导率关系在 pH≥5.6 和 pH<5.6 的水样中呈现相反的变化规律，即水样 pH<5.6 (酸雨) 的电导率随 H<sup>+</sup>的增加而明显增加，水样 pH≥5.6 的电导率随 H<sup>+</sup>增加而减少。

(2)降水 pH 值不同时，雨水中强酸根离子总和 (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + Cl<sup>-</sup>)、阴离子总和 (Σ An) 及阳离子总和 (Σ Cat) 与电导率的回归关系存在较小的变化差异，并且随着电导率的增加而增加。

(3)其他主要离子，在降水 pH 值不同时，离子浓度与电导率回归关系存在较大的差异，随着电导率的增加，各主要离子浓度增加的幅度和趋势不同。

因此，当我们用电导率来预测其他离子浓度时必须事先确定 pH 值，按照 pH≥5.6 和 pH<5.6 建立的回

归方程进行计算。依据实测的 pH 值、电导率和各种离子浓度，并去除个别偏离较大的数据后，通过 SPSS16.0 软件进行回归分析，获得各离子与电导率的最佳回归方程 (表 2)。

5 结论 (Conclusion)

- (1)流溪河106次降水中,通过各化学离子含量计算的电导率与对应实测的电导率相比较，两者存在较好的相关性 (R<sup>2</sup>=0.9363)，平均相对误差为-2.94%。
- (2)H<sup>+</sup>离子浓度与电导率关系在pH≥5.6和pH<5.6的水样中呈现相反的变化规律，即水样pH<5.6 (酸雨) 的电导率随H<sup>+</sup>的增加而明显增加，水样pH≥5.6的电导率随H<sup>+</sup>增加而减少。
- (3)电导率随离子总浓度的增加而增加，但当水样的总离子浓度相同或者H<sup>+</sup>和总离子浓度相同时，由于样品之间存在显著的其他化学组成差异，致使电导率的不一样。

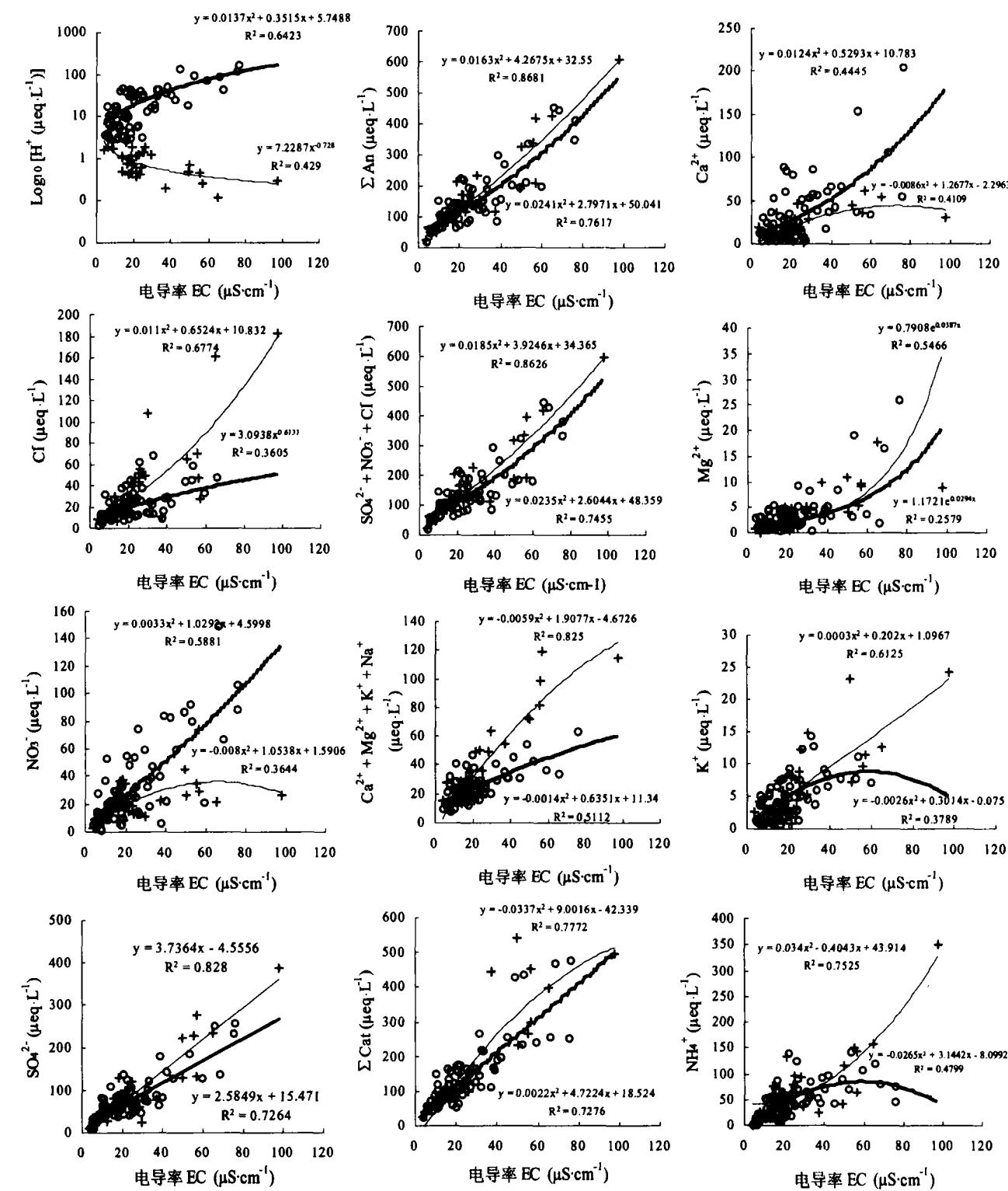


图3 不同 pH 下降水电导率与离子总浓度之间的关系  
(— + — pH≥5.6; — o — pH<5.6)  
Figure 3 Correlation between EC and sum of ion concentration in rainwater under different pH value  
(— + — pH≥5.6; — o — pH<5.6)

(4)将水样分成pH≥5.6和pH<5.6的两组后, 通过回归分析可获得各离子浓度与电导率之间较好的回归方程, 从而能达到通过简单的pH值和电导率的测定来预测水中的其他化学成分含量的目的, 尤其能较准确地预测出强酸根离子总和、硫酸根、阳离子总和等(因其相关性更好)。

表 2 流溪河雨水中各离子浓度与电导率的最佳回归模型汇总  
Table 2 Best regress models for the concentrations of ions and EC in rainwater at Liuxihe

离子 Ions	回归方程 Regress equation		判断系数 R <sup>2</sup>	调整后的 R <sup>2</sup> Adjusted R <sup>2</sup>	S.E	F	sig
H <sup>+</sup>	Y=7.229x <sup>-0.728</sup>	pH≥5.6	0.429	0.411	0.574	23.287	0.000
	Y=0.0137x <sup>2</sup> +0.351x+5.749	pH<5.6	0.642	0.631	18.191	56.576	0.000
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Y=-0.008x <sup>2</sup> +1.0534x+1.591	pH≥5.6	0.364	0.314	12.435	7.166	0.003
	Y=0.003x <sup>2</sup> +1.029x+4.598	pH<5.6	0.588	0.576	18.620	47.821	0.000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Y=3.736x-4.555	pH≥5.6	0.828	0.823	33.872	163.670	.0000
	Y=2.585x+15.471	pH<5.6	0.726	0.722	27.038	175.201	0.000
Cl <sup>-</sup>	Y=0.011x <sup>2</sup> +0.652x+10.832	pH≥5.6	0.677	0.657	22.983	33.593	0.000
	Y=3.094x <sup>0.613</sup>	pH<5.6	0.360	0.350	0.513	36.074	0.000
Σ An	Y=0.016x <sup>2</sup> +4.268x+32.550	pH≥5.6	0.868	0.860	44.979	108.555	0.000
	Y=0.024x <sup>2</sup> +2.797x+50.041	pH<5.6	0.762	0.755	44.897	107.055	0.000
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Y=0.034x <sup>2</sup> -4.04x+43.914	pH≥5.6	0.752	0.737	31.761	50.159	0.000
	Y=-0.026x <sup>2</sup> +3.144x+8.098	pH<5.6	0.480	0.464	24.480	30.904	0.000
Ca <sup>2+</sup>	Y=-0.009x <sup>2</sup> +1.268x-2.295	pH≥5.6	0.411	0.369	13.159	9.765	0.001
	Y=0.012x <sup>2</sup> +0.529x+10.783	pH<5.6	0.444	0.427	27.312	25.201	0.000
Mg <sup>2+</sup>	Y=0.791e <sup>0.039x</sup>	pH≥5.6	0.547	0.533	0.701	41.019	0.000
	Y=1.172e <sup>0.029x</sup>	pH<5.6	0.259	0.247	0.810	22.355	0.000
K <sup>+</sup>	Y=0.0003x <sup>2</sup> +0.202x+1.099	pH≥5.6	0.613	0.588	3.576	24.509	0.000
	Y=-0.003x <sup>2</sup> +0.314x-0.075	pH<5.6	0.379	0.357	2.625	17.080	0.000
Na <sup>+</sup>	Y=0.001x <sup>2</sup> +0.686x+3.329	pH≥5.6	0.705	0.687	9.779	38.288	0.000
	Y=-0.001x <sup>2</sup> +0.227x+8.787	pH<5.6	0.105	0.073	6.565	3.280	0.045
K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup> + Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	Y=-0.006x <sup>2</sup> +1.908x-4.673	pH≥5.6	0.825	0.814	12.480	75.429	0.000
	Y=-0.001x <sup>2</sup> +0.635x+11.340	pH<5.6	0.511	0.493	8.575	27.716	0.000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + Cl <sup>-</sup>	y=0.018x <sup>2</sup> +3.925x+34.365	pH≥5.6	0.863	0.854	44.876	103.616	0.000
	Y=0.024x <sup>2</sup> +2.604x+48.359	pH<5.6	0.745	0.738	44.531	98.130	0.000
Σ Cat	y=-0.034x <sup>2</sup> +9.002x-42.339	pH≥5.6	0.777	0.764	66.119	57.553	0.000
	Y=0.002x <sup>2</sup> +4.722x+18.524	pH<5.6	0.728	0.719	52.405	89.468	0.000

注: y 为预测因子即各离子浓度(μeq·L<sup>-1</sup>), x 为变量即电导率(μS·cm<sup>-1</sup>)。  
Note: y is predictor namely the concentration of ion (μeq·L<sup>-1</sup>); x represents the variable namely EC (μS·cm<sup>-1</sup>).

参考文献 (References)

[1] 冯宗炜. 1993. 酸沉降对生态系统的影响[M]. 北京: 中国科学技术出版社.

[2] 王彦辉译. 2002. 空气污染对森林影响的统一采样、评价、监测和分析的方法与标准手册[M]. 北京: 中国科学技术出版社.

[3] 王彦辉. 2001. 酸化森林生态系统对环境变化的响应[M]. 北京: 华文出版社.

[4] 付晓萍, 田大伦. 2006. 酸雨对植物的影响研究进展[J]. 西北林学院学报, 21(4): 23-27.

[5] 周光益, 徐义刚, 吴仲民, 等. 2000. 广州市酸雨对不同森林冠层淋溶规律的影响[J]. 林业科学研究, 13(6):598~607.

[6] Menz F C, Seip H M. 2004. Acid rain in Europe and the United States: an update [J]. *Environmental Science & Policy*, 7: 253-265.

[7] Larssen T, Lydersen E, Tang D, et al. 2006. Acid rain in China [J]. *Environmetal Science & Technology*, 15: 428-425.

[8] Xu Y G, Zhou G Y, Wu Z M et al. 2001. Chemical composition of precipitation, throughfall and solution at two forested sites in Guangzhou, South China [J]. *Water, Air, and Soil Polution*, 130:1079-1084.

[9] Stumm W & J J Morgan. 1981. *Aquatic chemistry*[M]. Wiley & Sons, New York.

[10] Weast R C (ed.). 1968. *Handbook of chemistry and physics* (49<sup>th</sup> ed.)[M]. Cleveland, Ohio: Chemical Rubber Co.

[11] 申献辰. 1994. 天然水化学[M]. 北京:中国环境科学出版社.

[12] Keene, W C, Pszenny, A P, Galloway, J N. 1986. Sea-salt correction of constituent rations in marine precipitation [J]. *Geophysical Research*, 91(D6): 6647-6658.