

文章编号: 1004-4965 (2005) 03-0330-07

福州气象条件与酸雨的关系研究

林长城¹, 林祥明¹, 邹 燕², 张 玲³

(1. 福建省气象科学研究所, 福建 福州 350001; 2. 福建省气象影视中心,
福建 福州 350001; 3. 福建省气象台, 福建 福州 350001)

摘 要: 利用 1991~2000 年福州市的探空、雨量和酸雨资料来探讨不同气象条件对降水酸度、酸雨出现率的影响, 结果表明: 雨量对降水酸度、酸雨出现率有着显著影响; 逆温特征越明显, 降水酸度越酸, 酸雨出现率越大; 1500 m 上空风对福州酸雨有着明显的影响; 在暖平流控制下降水酸度不仅酸且酸雨出现率大; 随着 K 指数增大, 酸雨出现率逐渐减小。

关 键 词: 气象条件; 降水酸度; 酸雨; 酸雨出现率

中图分类号: X16

文献标识码: A

1 引 言

酸雨(pH 值 < 5.60) 对生态的危害日趋严重, 已成为全球倍受关注的环境污染问题之一。福州市属于国家酸雨控制重点城市, 近 10 多年福州市的酸雨虽然其 pH 值的年均值呈显著上升的趋势, 但酸雨出现率却无明显减少, 说明酸雨对福州市的危害并没有得到改善^[1]。降水酸度的变化除了受当地大气污染物化学性质和源场变化的影响外, 气象条件的变化对降水酸度影响也是相当明显的^[2-4]。因为不同气象条件下对当地大气污染物的水平和垂直扩散的抑制作用不尽相同, 当大气污染物的化学性质和源场保持相对恒定的情况下, 气象条件的变化完全会影响和改变降水酸度的性质。为此酸雨研究从原来重点对致酸污染物排放和运输的研究, 逐步开始重视开展气象条件与酸雨关系的研究。本文利用 1991~2000 年由福州市环保部门设置的 3 个酸雨监测点观测的 pH 值资料, 结合气象部门对应观测的雨量、探空资料, 来探讨不同气象条件对福州降水酸度、酸雨出现率的影响, 旨在为今后开展福州市的酸雨气象潜势预报提供客观依据。

2 资料来源与处理

取设置在福州市区内 3 个监测点(监测站、仓前站和洋下站)的 1991~2000 年监测的酸雨资料, 对于代表福州市每个观测日的 pH 值是通过对其 3 个监测点的 pH 值进行雨量加权平均而求得。10 年

收稿日期: 2004-01-20; 修订日期: 2004-04-28

基金项目: 福建省气象局 2000 年科研项目资助

作者简介: 林长城(1958-), 男, 福建人, 高级工程师, 学士, 主要从事大气探测和大气物理研究。E-mail: changcheng_lin@163.com

共取得降水酸度资料 693 个样本。

为了客观反映不同气象条件的变化情况,选择以下 6 个气象因子直接表征:(1)雨量:通常以酸雨观测日的日雨量为准,(2)逆温层,(3)K 指数,(4)冷暖温度平流,(5)1500 m 高度的风向,(6)1500 m 高度的风速。(2)~(6)的数据是利用福建省气象台探空站逐日观测的 08 时和 20 时探空资料经处理而获得的。对于 06~18 时观测的酸雨资料,用 08 时观测的探空资料来分析;同样对于 18 时~次日 06 时的酸雨资料,用 20 时的探空资料。

3 结果分析

3.1 雨量与酸雨的关系

福州市四季降水表现不尽相同,春季降水绵绵细雨,特点为强度均匀且时间长;夏季降水多数是在局地不稳定的天气条件下出现,强度大且时间短;而秋季和冬季的降水特点则是强度小且时间短。在酸雨观测中发现:不同雨量下的降水酸度相差各异。这里以每次酸雨观测所取得的雨量按 5 个等级(毛毛雨:0.1 $R < 2$,小雨:2 $R < 10$,中雨:10 $R < 25$,大雨 25 $R < 50$,暴雨: $R \geq 50$, R 的单位为 mm)进行划分,并对不同雨量等级下降水的 pH 平均值(以下均以 pH 值表示)、酸雨出现率的变化情况进行分析,结果见表 1。

由表 1 可见:5 个雨量等级的降水酸度、酸雨出现率相差明显,每个雨量等级里的 pH 值均低于 5.60 为酸雨,随着雨量的增大,pH 值呈“U”型变化,其中中雨的降水酸度最高为 4.77;酸雨出现率也随雨量增大逐渐增多,雨量达到中雨以上时酸雨出现率基本维持在 50%以上,说明雨量大酸雨出现的机会多。

根据文献[5]对降水酸碱性的划分标准,不同雨量等级下各种酸性降水的统计结果见表 2。由表 2 可见:中雨时出现强酸性降水的机会最多为 43.62%,其次为小雨,毛毛雨出现强酸性降水的机会最小;酸性降水主要出现在小雨里为 43.33%,其次分别在大雨和中雨里;轻度酸性降水多数出现在小雨和中雨里;毛毛雨出现酸雨的机会最小,中雨和小雨最易出现不同酸度的酸雨。分析结果与沈志来等在上海地区观测的结果有相似之处^[6],但与黄美元等在重庆地区观测的结果则相反^[7],可见降水酸度除了与雨量大小有关外,很大程度还取决于局地污染物的性质和气象条件的变化。

表 1 5 个雨量等级下降水酸度、酸雨出现率的统计结果

项目	毛毛雨	小雨	中雨	大雨	暴雨
pH 值	5.15	4.91	4.77	4.86	5.01
酸雨出现率 / %	20	45.96	53.92	51.82	53.57

表 2 不同雨量等级下 3 种酸度降水出现率的统计结果

项目	样本数	毛毛雨	小雨	中雨	大雨	暴雨
强酸性出现率 / %	94	1.06	32.98	43.62	18.09	4.26
酸性出现率 / %	90	2.33	43.33	22.22	23.33	8.89
轻度酸性出现率 / %	156	1.28	39.10	35.90	12.18	11.54

福州市四季的划分为:春季为 3~6 月、夏季为 7~9 月、秋季为 10~11 月、冬季为 12~2 月。不同季节下降水酸度、酸雨出现率随雨量变化的结果见图 1 和图 2。

由图 1 和图 2 可见,四季里同一雨量等级的降水酸度相差较大。夏季、秋季毛毛雨的 pH 值均高于 5.60,几乎没酸雨出现;冬季、春季毛毛雨的 pH 值均低于 5.60,酸雨出现率仅在 30%左右。

小雨除了冬季的 pH 值略有升高外,其余 3 个季节的 pH 值都降低,夏、秋两季 pH 值从原来大于 6.0 下降到 5.6 以下;冬、春两季的酸雨出现率从毛毛雨的 30%增大到 50%左右,夏、秋两季酸雨出现率也增大到 30%左右。在中雨以上的降水里春季、夏季的 pH 值分别维持在 4.4~4.8 和 5.2~5.6 范围内,春季酸雨出现率随雨量变化维持在 55%以上,而夏季酸雨出现率随着雨量增大而增多;秋季的 pH 值随着雨量增大呈升高变化,特别是在雨量达到大雨以上时,降水的 pH 值超过 5.6,酸雨出现率从中雨起变化不明显,基本维持在 30%左右;冬季的 pH 值在雨量达到中雨时略有回升,但酸雨出现率则随雨量增大明显提高,如雨量达到暴雨以上时酸雨出现率为 100%。可见四季不同雨量的降水对其 pH 值的大小和酸雨出现率的变化有着相当大的影响。另外,从图 1 和图 2 还可以看出春、冬两季酸雨最为严重,不同雨量等级下其降水酸度、酸雨出现率均甚于夏、秋两季。

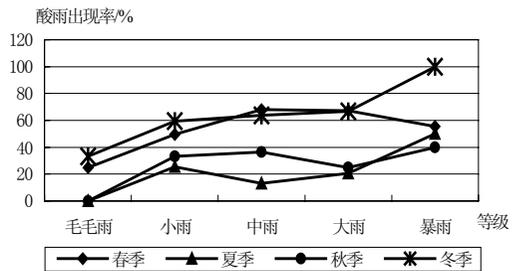
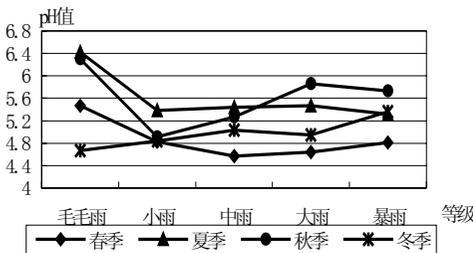


图 1 福州四季 pH 值随雨量的变化情况

图 2 福州四季酸雨出现率随雨量变化的分布情况

3.2 逆温层对酸雨的影响

福州出现降水前如果大气层结比较稳定,时常伴有逆温出现,使得低层大气污染物难以向上扩散,在局部形成污染物堆集。一旦降水出现,在云下“冲刷”作用下降水酸度将发生明显变化。图 3 为 1991~2000 年福州探空站 08 时和 20 时观测资料给出的福州市逆温逐月出现率的统计结果(图中细实线)。由图 3 可见,10 年当中逆温出现率的逐月平均变化基本呈单峰型变化,10~4 月最易出现逆温,出现率高达 60%左右;而 7~8 月份出现逆温的机率最低,仅为 30%左右;两者相差近一倍。本文 693 个样本中出现逆温的情况如图 3 中的粗实线,由图 3 看出:693 个样本中逆温出现率的逐月平均变化趋势与 10 年逐月观测的统计结果基本相同,说明本文酸雨样本所对应的逆温资料具有一定的代表性。冬季和春季出现逆温的机会远比夏季来得大的事实进一步说明这两个季节里大气低层垂直对流活动相对比较弱,有利于逆温形成,抑制大气低层的污染物的水平和垂直方向的扩散,由于福州的低层大气污染物的化学性质(如 TSP 气溶胶,另文分析)表现为酸性,对降水酸度的缓冲能力弱,加上福州市空气污染物冬半年明显大于夏半年^[8],这可能就是春、冬两季的酸雨较夏季和秋季严重的原因之一^[1]。

以下用 3 个表征逆温性质的特征量来反映逆温与酸雨之间的关系。这 3 个特征量分别为:逆温底高、逆温强度和逆温厚度。

3.3 逆温底高对酸雨的影响

福州地形为盆地,四周环山,除东面有 800 m 左右的高山外,其余均低于 600 m,考虑到逆温底高超过 1600 m 以上对当地大气污染物扩散影响较小,所以把逆温底高超过 1600 m 的情况归为一档。为此,我们把逆温底高(以海拔高度为准)分为以下 6 个等级: $H < 100$ m, 100~399 m, 400~699 m, 700~999 m, 1000~1599 m, $H \geq 1600$ m。结果见图 4 和图 5。

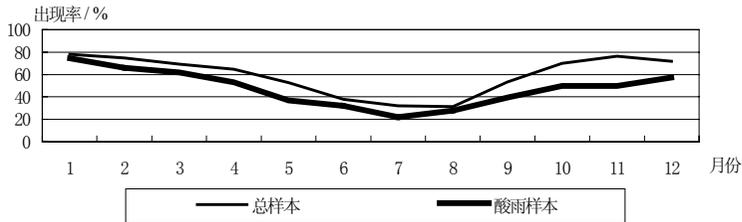


图 3 福州市逆温逐月出现率的分布结果

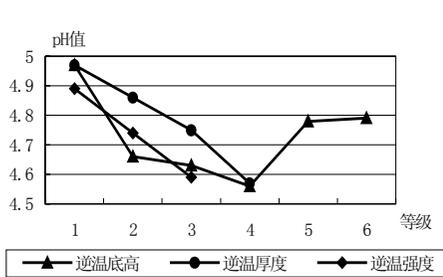


图 4 不同逆温条件下 pH 值的变化结果

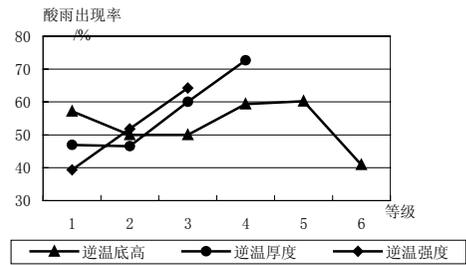


图 5 不同逆温条件下酸雨出现率的变化结果

由图 4 和图 5 可见，当逆温底高低于 100 m 时，pH 值为 4.97；在逆温底高介于 100 ~ 1000 m 范围内随着逆温底高的抬升，pH 值逐渐降低，达到 1000 m 时 pH 值降至最低为 4.56；当逆温底高超过 1000 m 之后，pH 值又逐渐升高并趋于平缓，并在 4.8 附近变化；逆温底高对酸雨出现率的影响则表现在当逆温底高低于 1600 m 时，酸雨出现率基本维持 55% 之间波动，一旦其底高超过 1600 m，酸雨出现率则下降到 40% 附近，说明逆温底高的抬升，有利于大气低层污染物的水平和垂直扩散，使酸雨出现的机会减少。

3.4 逆温厚度对酸雨的影响

逆温厚度的定义是取自第一层逆温底高与第一层逆温顶高的差值，由于逆温层越厚，逆温层下部的大气污染物就越难向上扩散，局地的大气污染物越易堆集，降水时云下雨滴冲刷致酸作用就越明显。考虑到不同逆温厚度对降水酸度、酸雨出现率的影响有所不同，把逆温厚度分为 4 个等级： $0 < HD < 100$ m， $100 \sim 299$ m， $300 \sim 500$ m， $HD \geq 500$ m。结果见图 4 和图 5。

由图 4 和图 5 可见，逆温厚度的变化对降水酸度和酸雨出现率的影响是非常明显的。随着逆温厚度的逐渐增大，pH 值逐渐变小，如 pH 值由初始 5.0 变酸至 4.6 以下；而酸雨出现率则由低于 50% 逐渐上升，并超过 70%。

3.5 逆温强度对酸雨的影响

逆温强度是以第一层逆温顶高与第一层逆温底高之间的温差除以其逆温厚度而获得的。逆温强度越大，即使逆温厚度较薄，同样可以阻止其底部的大气污染物向上扩散，有利于局地大气污染物堆集。这里把逆温强度（取逆温强度 > 0.01 /100 m 的情况）按大气干、湿绝热直减率的标准划分为 3 个等级： $0.01 < r < 0.4$ ， $0.4 < r < 0.98$ ， $r \geq 0.98$ 。分析的结果见图 4 和图 5。

由图 4 和图 5 可见，逆温强度的变化与降水中降水酸度大小、酸雨出现率的变化关系密切。

逆温强度增大时, pH 值就变得越来越低, 酸雨出现的机会就越来越大, 说明强逆温出现时, 局地的大气污染物确实难以通过水平和垂直方向进行扩散, 加上福州市大气污染物表现为酸性特征, 降水冲刷的作用使得 pH 值变得越小, 酸雨出现率则越大。

从以上逆温的底高、厚度和强度对酸雨影响的分析结果来看, 当降水前逆温底部维持福州四周高山平均海拔高度附近、逆温厚度越厚和逆温强度越大时, 对降水酸度贡献就越明显, 使得降水酸度变得越酸、酸雨出现机会越多。

3.6 1500 m 上空风向、风速对酸雨的影响

当大气污染源保持相对恒定的情况下, 风对局部大气污染源的扩散有着明显的影响, 福州地形为盆地, 四周群山环抱, 地面风向四季多变。为了探讨不同风向对酸雨的影响, 同时考虑到“大气中二氧化硫及其衍生物平流的平均高度为 1200 ~ 1500 m”^[9], 这里选择福州市上空 1500 m 高度的风向和风速进行分析。

3.6.1 风向对酸雨的影响

图 6 和图 7 为福州市 1500 m 上空不同风向下 pH 值的变化结果。当福州市的 1500 m 上空出现东南风(SE)时, pH 值最低为 4.76, 这可能与位于福州市东南方 20 km 处的华能发电厂所排发的 SO₂ 有关; 当 1500 m 上空吹偏南风时, pH 值均较其它风向来得低; 而出现偏北风或东风时, pH 值则比较高, 特别是吹东北风(NE)时其 pH 值最高为 5.44。1500 m 上空的的不同风向对酸雨出现率影响也很大, 其中吹东南风时酸雨出现率接近 70%, 可见在此风向下发电厂所排放的 SO₂ 对福州降水酸度确实有明显的影 响; 其次是偏西南风下酸雨出现率均超过 40%, 而北风或东北风下酸雨出现率仅有 30%左右, 与东南风相比两者相差一倍多。

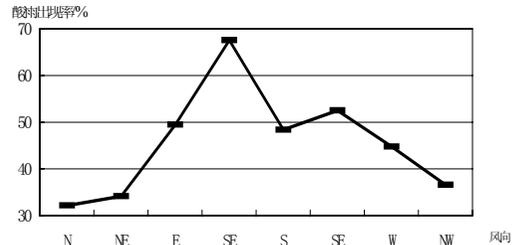
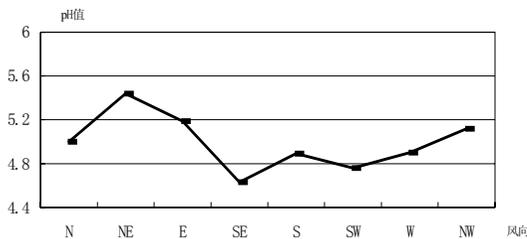


图 6 1500 m 不同风向下 pH 值的变化结果

图 7 1500 m 不同风向下酸雨出现率的分布结果

3.6.2 风速对酸雨的影响

风速大小虽然决定着当地大气污染物对外扩散速度, 同时也预示着当地受上游污染源污染影响的程度; 只有当致酸污染物的输入量小于输出量时, 风速对当地的降水酸度降低才起缓冲作用。反之, 当地的降水酸度将升高。这里对风等级的划分是根据福州市地面历年各个风速等级出现频率情况进行的, 为此把 1500 m 上空的风速分为 3 个等级, 其中: 0 ~ 2 级风为一级 (< 3.4 m/s), 3 ~ 5 级风为二级, 大于 5 级以上的风为 3 级 (> 10.8 m/s), 1500 m 上空的风速对降水酸度、酸雨出现率的影响结果见图 8 和图 9。

由图 8 和图 9 可见, 当 1500 m 上空的风速低于 2 级风时, pH 值为 4.86, 酸雨出现率低于 35%; 而风速处于 3 ~ 5 级时, pH 值有所降低, 降水出现酸雨的机会明显增加, 达到 53%左右; 风速一旦超过 5 级时, 虽然酸雨出现率没有明显变化, 但 pH 值反而回升, 达到 5.0 的水平。说明 1500 m 上空风速的变化对福州降水酸度、酸雨出现率有一定的影响, 这种影响应当是局地污染源和外来污染

源共同作用的结果。

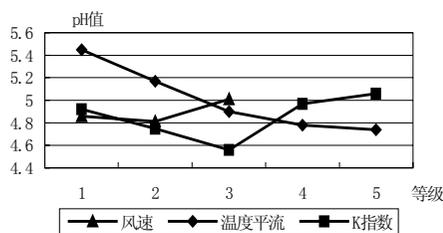


图 8 不同气象条件下 pH 值的变化结果

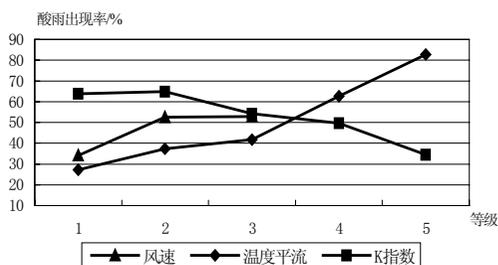


图 9 不同气象条件下酸雨出现率的变化结果

3.7 温度平流对酸雨的影响

温度平流是描述温度水平输送强度的物理量,用于判别冷、暖平流对大气层结稳定度的影响。考虑到大气中致酸污染物的输送带通常位于 850 hPa 高度附近,所以这里利用 850 ~ 700 hPa 之间的温度平流变化情况来探讨不同温度平流情况下对降水酸度、酸雨出现率的影响。根据冷、暖温度平流的强弱分为以下 5 个等级: $-100 < Tw < -18$ 、 $-18 < Tw < -3$ 、 $-3 < Tw < 3$ 、 $3 < Tw < 18$ 、 $18 < Tw < 100$, 结果见图 8 和图 9。

由图 8 和图 9 可见,在 850 ~ 700 hPa 之间不同强度的冷、暖温度平流对降水酸度的影响是十分明显的,当冷平流的强度小于 -18 度/日时,不但 pH 值比较高为 5.45,同时酸雨出现率也较小,仅为 27%左右;随着冷平流向暖平流转换,pH 值不断降低,酸雨出现率也逐渐增大。如当暖平流的强度大于 18 度/日时,降水中的 pH 值为 4.74,其酸雨出现率超过 80%,可见同样等级的不同冷、暖平流,其酸雨出现率相差有 3 倍之多,应当说福州市上空在暖平流控制下的降水酸度不仅酸且出现酸雨的机会大。

3.8 K 指数对酸雨的影响

K 指数(气团指数)通常用来判别局地大气垂直稳定度的变化,K 值愈大表示大气层结愈不稳定,出现雷雨天气的机率就越大。那么在这种气象条件下对降水酸度、酸雨出现率有何影响?对于 K 指数大小的分级依照北美地区在研究 K 值与雷雨天气之间关系的统计结果划分为 5 级: $K < 20$ 、 $20 < K < 25$ 、 $25 < K < 30$ 、 $30 < K < 35$ 、 $K > 35$, 统计的分析结果见图 8 和图 9。

由图 8 和图 9 可见,随着 K 指数的增大,pH 值逐渐降低,当 K 指数超过 30 之后又逐渐升高;而酸雨出现率则是随 K 指数的增大从 64% 一路减小到 34% 左右,说明当有雷雨天气出现且范围较大时酸雨出现的机会相对比较稳定天气下的降水小,印证了不稳定气象条件便有利于大气低层污染的垂直和水平方向的扩散,局地污染源对降水酸度的贡献变小的事实。

4 结 论

(1) 福州市雨量的大小对降水酸度有着明显的影响,雨量达到中雨等级时降水酸度最高,酸雨出现率随雨量增大而增多。强酸性降水多数出现在中雨和小雨当中,小雨出现酸雨的机会较少。四季中不同雨量等级降水对其降水酸度的大小和酸雨出现率的变化有着相当大的影响,总体上看春、冬二季降水酸度、酸雨出现率甚于夏、秋二季。

(2) 福州市逆温出现率的逐月变化呈单峰型,10 ~ 4 月之间最易出现逆温,7 ~ 8 月份出现逆温

的机会最小。逆温对福州市的降水酸度有着明显的影响,当逆温底高越靠近周边高山平均海拔高度、逆温厚度越厚和逆温强度越大,对降水酸度贡献就越明显,酸雨出现的机会越多。

(3) 1500 m 上空的风向对福州市降水酸度有着明显的影响,当 1500 m 上空出现东南风时, pH 值最低,酸雨出现率最大;当出现偏北风或东风时, pH 值最高,酸雨出现率较低。当 1500 m 上空的风速处于 3~5 级风时, pH 值最低,出现酸雨的机会也最多。风速的变化带来降水酸度和酸雨出现率的变化,说明福州酸雨是由局地污染源和外来污染源共同作用造成的。

(4) 在 850~700 hPa 之间不同强度的冷、暖温度平流对降水酸度的影响十分明显,福州市上空在冷平流控制下 pH 值不但高且酸雨出现率也低,在暖平流控制下 pH 值低且酸雨出现机会也大。

(5) K 指数变化直接反映降水酸度的变化,随着 K 指数的增大,酸雨出现率逐渐减小。

参 考 文 献:

- [1] 林长城,林祥明,魏文飞,等. 福州市酸雨时空分布特征及变化趋势[J]. 气象, 2001 (增刊): 16 - 20.
- [2] 杨东贞. 酸雨与气象条件的关系[A]. 酸雨文集[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 487 - 494.
- [3] 高学杰,林一骅,赵宗慈. 用区域气候模式模拟人为硫酸盐气溶胶在气候变化中的应用[J]. 热带气象学报, 2003, 19(2): 169 - 176.
- [4] 黄健,李福娇,江奕光,等. 广州白云山风景区酸雨布[J]. 热带气象学报, 2003, 19(增刊): 126 - 135.
- [5] 程新金,黄美元. 降水化学特性的一种分类分析方法[J]. 气候与环境研究, 1998, 3(1): 82 - 88.
- [6] 沈志来,黄美元,吴玉霞,等. 上海地区云水和雨水酸度及其化学组分分析[J]. 大气科学, 1989, 13(4): 460 - 466.
- [7] 黄美元,沈志来,吴玉霞,等. 重庆地区云水和雨水酸度及其化学组分的观测分析[J]. 大气科学, 1988, 12(4): 389 - 395.
- [8] 林祥明,林永登,冯宏芳,等. 利用地面气象资料进行福州市空气质量日预报[J]. 热带气象学报, 2001, 17(4): 320 - 326.
- [9] 胡倬. 酸雨的气象解释及可能性探讨[J]. 环境科学, 1984, 5(1): 73 - 76.

STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN METEOROLOGICAL CONDITIONS AND ACID RAIN IN FUZHOU, FUJIAN PROVINCE

LIN Chang-cheng¹, LIN Xiang-ming¹, ZHOU Yan², ZHANG Ling³

(1. Meteorology Research Institute of Fujian Province, Fuzhou 350001, China;

2. Fujian Meteorological TV Center, Fuzhou 350001, China

3. Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350001, China)

Abstract: The influence of acidity and acid rain frequency are discussed by using the data of sounding, rainfall and acid rain on meteorological conditions in 1991~2000 in Fuzhou, Fujian Province. The results show that rainfall is significant for the acidity and acid rain frequency. The more obvious the characteristics of inversion, the higher the acidity and acid rain frequency. Wind aloft in 1500 meters has significant effect on the acidity and acid rain frequency, which are higher when it is controlled by warm advection. Acid rain frequency decreases when K index rises.

Key words: Meteorological condition; Acidity; Acid; Acid rain frequency.