

温州市负氧离子浓度分布与预测模型

张灵杰^{1,2,3}

¹中国气象局上海台风研究所温州联合实验室, 浙江 温州

²温州市气象台院士工作站, 浙江 温州

³文成县气象局, 浙江 温州

Email: 52604885@qq.com

收稿日期: 2020年10月29日; 录用日期: 2020年11月11日; 发布日期: 2020年11月18日

摘要

利用2019年3月~2020年2月温州地区空气负氧离子浓度资料, 分析其分布特征及与气象因素的相关性, 采用多元回归方法建立负氧离子浓度预测模型。结果表明: 泰顺的年均负氧离子浓度最高, 其次为大罗山, 这两个站均为高山站; 平阳、洞头、乐清的负氧离子浓度较低, 其中平阳最低; 永嘉、温州、瑞安、文成、苍南的负氧离子浓度较为接近。乐清、大罗山、永嘉、平阳、瑞安负氧离子浓度以冬季最高, 春季最低; 温州、泰顺、洞头负氧离子浓度以夏季最高, 春季最低; 文成负氧离子浓度以冬季最高, 夏季最低; 苍南负氧离子浓度以秋季最高, 春季最低。大罗山和苍南夜间负氧离子浓度较高, 白天负氧离子浓度较低, 最大值出现在早晨时段, 最小值出现在中午时段, 可选择在早晨开展康养旅游; 泰顺和文成中午时段负氧离子浓度较高, 早晨和傍晚负氧离子浓度较低, 可选择在中午开展康养旅游。负氧离子浓度与雨量、风速呈正相关, 与气温、湿度呈负相关。负氧离子预测模型预报能力较好, 预测模型的建立实现了温州地区空气负氧离子浓度的定量化预报, 对生态旅游气象服务有重要意义。

关键词

负氧离子浓度, 气象因素, 预测模型

The Distribution of Oxygen Anion Concentration and Forecasting Model in Wenzhou

Lingjie Zhang^{1,2,3}

¹Joint Laboratory of Shanghai Typhoon Institute & Wenzhou Meteorological Bureau, Wenzhou Zhejiang

²Academician Workstation of Wenzhou Meteorological Observatory, Wenzhou Zhejiang

³Wencheng Meteorological Bureau, Wenzhou Zhejiang

Email: 52604885@qq.com

文章引用: 张灵杰. 温州市负氧离子浓度分布与预测模型[J]. 自然科学, 2020, 8(6): 569-580.

DOI: 10.12677/ojns.2020.86067

Abstract

Based on the oxygen anion concentration data from March 2019 to February 2020 in Wenzhou, its distribution and the relationship with meteorological elements were analyzed. A forecasting model of oxygen anion concentration was established by a multiple regression analysis method. The results show that the annual average oxygen anion concentration in Taishun is the highest, followed by Daluoshan, and the two stations are both located in high mountain area; the oxygen anion concentrations in Pingyang, Dongtou and Yueqing are low, and the concentration in Pingyang is the lowest; the oxygen anion concentrations in Yongjia, Wenzhou urban area, Ruian, Wencheng and Cangnan are similar. The oxygen anion concentrations in Yueqing, Daluoshan, Yongjia, Pingyang and Ruian are the highest in winter and the lowest in spring; the oxygen anion concentrations in Wenzhou urban area, Taishun and Dongtou are the highest in summer and the lowest in spring; the oxygen anion concentration in Wencheng is the highest in winter and the lowest in summer; the oxygen anion concentration in Cangnan is the highest in autumn and the lowest in spring. The oxygen anion concentrations in Daluoshan and Cangnan are higher at night and lower in the daytime, with the maximum value appeared in the morning, and the minimum value appeared at noon, so the health tourism can be carried out in the morning in such areas; the oxygen anion concentrations in Taishun and Wencheng are higher at noon and lower in the morning or evening, so the health tourism can be carried out at noon in such areas. The oxygen anion concentration is in a positive correlation with rainfall and wind speed, and in a negative correlation with air temperature and humidity. The model could quantitatively predict the oxygen anion concentration in Wenzhou, which is important to ecological tourism meteorology service.

Keywords

Oxygen Anion Concentration, Meteorological Elements, Forecasting Model

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

空气负离子是带有负电荷的气体分子和轻离子团的总称[1], 被称为“空气维生素”。空气负离子主要为负氧离子, 它具有杀菌、降尘、清洁空气等功效, 对人体健康有积极意义。目前, 空气负氧离子水平已成为评价旅游环境空气清洁度的重要指标[2] [3] [4], 其研究为旅游环境评价、生态康养旅游规划提供了科学依据。对空气负氧离子浓度时空分布特征的研究表明[5] [6] [7] [8] [9], 负氧离子浓度空间分布不均匀, 由市中心向郊区逐渐增大, 随海拔高度的增加而增大; 负氧离子浓度有明显的季节变化和日变化规律。我国各地气象部门积极开展了负氧离子浓度的监测和分析工作, 北京、天津和杭州等地已经开展了负氧离子浓度预报业务, 并取得了较好的社会效益。

然而, 以往对负氧离子的研究所使用的观测资料大多为间断性的, 数据周期为几个月, 连续性不好、周期短、统计规律不明显, 而且将研究结果应用于实际业务, 建立负氧离子预测模型方面的研究也较少[10] [11] [12] [13]。温州地处东南沿海, 境内山川秀美, 旅游资源丰富, 但缺少对旅游生态环境的研究, 负氧离子与气象因素的关系方面尚未深入分析和研究。本文利用连续观测的负氧离子资料通过对温州地

区负氧离子浓度分布特征的分析, 及其与气象影响因素相关性的研究, 通过多元线性回归方法, 建立温州市负氧离子浓度预报方程, 实现负氧离子的定量化预报预测, 为生态康养旅游提供科学依据和参考信息。

2. 资料与方法

2.1. 研究资料

负氧离子浓度测量采用北京华思通科技有限公司 WST-5B 型大气负氧离子负氧离子监测设备。温州地区共布设了 10 个负氧离子气象观测点, 其中乐清、永嘉、温州、泰顺、文成、平阳、瑞安、苍南和洞头这 9 个站位于各县市区气象观测站, 温州站代表温州市区, 大罗山站位于温州市区大罗山风景区内, 负氧离子气象观测点的分布见图 1。

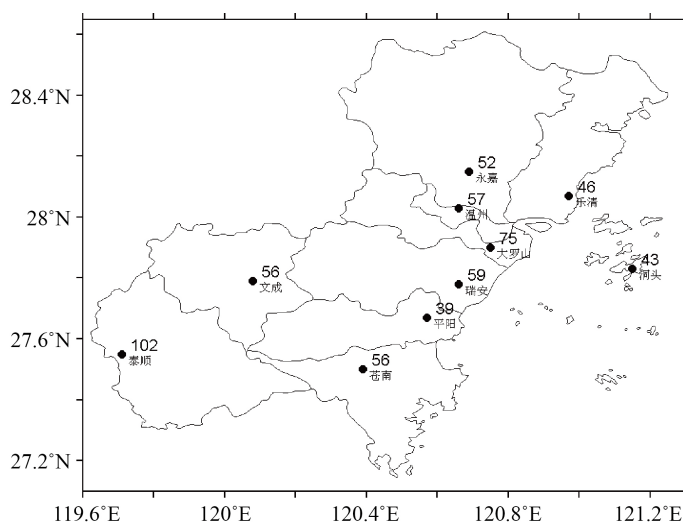


Figure 1. The spatial distribution of oxygen anion concentrations from March 2019 to February 2020 in Wenzhou

图 1. 2019 年 3 月~2020 年 2 月温州地区负氧离子浓度分布

华思通负氧离子数据从 2018 年 3 月开始, 考虑到设备建成初期出现运行不稳定的情况, 故选取 2019 年 3 月~2020 年 2 月整 1 年的负氧离子浓度观测资料, 观测间隔为每小时一次。监测的离子值分为两档, 即迁移速率(即离子运动速度)大于等于 $1.0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大离子和大于等于 $0.4 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 的小离子两档。因小离子的医疗保健等作用更突出, 本文选取小离子为研究对象。在 2019 年 3 月~2020 年 2 月期间, 乐清站共有 8537 个观测值, 大罗山站共有 8482 个观测值, 永嘉站共有 8539 个观测值, 温州站共有 8546 个观测值, 泰顺站共有 8556 个观测值, 文成站共有 8555 个观测值, 平阳站共有 8214 个观测值, 瑞安站共有 8544 个观测值, 苍南站共有 8526 个观测值, 洞头站共有 8537 个观测值。剔除异常值之后, 最终得到可利用的乐清站 8426 个观测值、大罗山站 7176 个观测值、永嘉站 8478 个观测值、温州站 8340 个观测值、泰顺站 8152 个观测值、文成站 7674 个观测值、平阳站 6994 个观测值、瑞安站 7951 个观测值、苍南站 7843 个观测值、洞头站 7989 个观测值。温度、相对湿度、气压等气象资料选用 2019 年 3 月~2020 年 2 月每小时一次的自动站观测数据。

2.2. 研究方法

在回归分析中, 如果有两个或两个以上的自变量, 就称为多元回归。事实上, 一种现象常常是与多

个因素相联系的, 由多个自变量的最优组合共同来预测或估计因变量, 比只用一个自变量进行预测或估计更有效, 更符合实际。因此多元线性回归比一元线性回归的实用意义更大。假设因变量 Y 和 k 个自变量 X_1, X_2, \dots, X_k 之间存在线性相关关系, Y 和 X 之间的函数关系可以表示为:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (1)$$

式中, β_0 为回归常数, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 为回归系数, ε 为回归残差。若对因变量进行 n 次观测, 其观测值为 $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik}$, 其中 $i=1, 2, \dots, n$, 则 n 个观测值可以表示为:

$$\begin{cases} y_1 = \beta_0 + \beta_1 X_{11} + \beta_2 X_{12} + \dots + \beta_k X_{1k} + \varepsilon_1 \\ y_2 = \beta_0 + \beta_1 X_{21} + \beta_2 X_{22} + \dots + \beta_k X_{2k} + \varepsilon_2 \\ \vdots \\ y_n = \beta_0 + \beta_1 X_{n1} + \beta_2 X_{n2} + \dots + \beta_k X_{nk} + \varepsilon_n \end{cases} \quad (2)$$

式中, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_k$ 为回归残差, 假定它们相互独立且服从同一正态分布 $N(0, \sigma^2)$ 。

多元线性回归分析就是通过回归拟合求解回归参数 β 的估计值, 建立多元线性回归方程, 并对建立的回归方程及其回归系数的显著性进行检验。多元线性回归的数据通常需要满足以下统计假设。① 正态性: 对于固定的自变量取值, 因变量值呈正态分布; ② 线性: 因变量和自变量之间线性相关; ③ 同方差性: 因变量的方差不随自变量的水平不同而变化; ④ 独立性: 因变量之间相互独立, 不存在多重共线性。

本文利用多元回归分析方法, 将负氧离子浓度作为因变量, 雨量、气温、湿度、风速等气象因素作为自变量, 采用 Matlab 软件进行多元线性回归拟合而建立温州市负氧离子浓度的预测模型。

3. 结果分析

3.1. 负氧离子浓度时空分布特征

3.1.1. 地域分布特征

2019年3月~2020年2月温州地区平均负氧离子分布见图1, 泰顺的负氧离子浓度最高, 为102个/cm³, 其次为大罗山75个/cm³, 这两个站均为高山站, 海拔高度在500m以上。平阳、洞头、乐清的负氧离子浓度较低, 均在50个/cm³以下, 其中平阳最低, 为39个/cm³。永嘉、温州、瑞安、文成、苍南的负氧离子浓度较为接近, 在50~60个/cm³之间。

研究表明[3][4][5][6][7], 空气负氧离子浓度与人类活动、周围绿化环境等有关, 市中心附近的负氧离子浓度远小于郊区和植被覆盖率高的森林山区。温州的观测站中, 泰顺和大罗山处于高海拔山区, 周围山林茂密, 植物数量多, 环境污染少, 空气中负氧离子浓度相对较高。

3.1.2. 负氧离子浓度季节和月变化

以3~5月、6~8月、9~11月和12月至翌年2月分别代表春夏秋冬四季。由表1可见, 乐清、大罗山、永嘉、平阳、瑞安负氧离子浓度以冬季最高, 春季最低; 温州、泰顺、洞头负氧离子浓度以夏季最高, 春季最低; 文成负氧离子浓度以冬季最高, 夏季最低; 苍南负氧离子浓度以秋季最高, 春季最低。

负氧离子浓度的上述季节变化可能与天气状况有关, 春季温州大部分县市区大雾、阴天日数较多, 空气质量较差; 而冬季温州大部分县市区平均风速大, 烟尘很快被稀释, 冬季晴天日数也远远多于春季。曾曙才等[14]的研究表明, 晴天负氧离子浓度要高于阴天。夏季负氧离子浓度高, 与夏季雷雨天气多、空气湿度大、草木繁茂吸收气溶胶粒子多等有关。

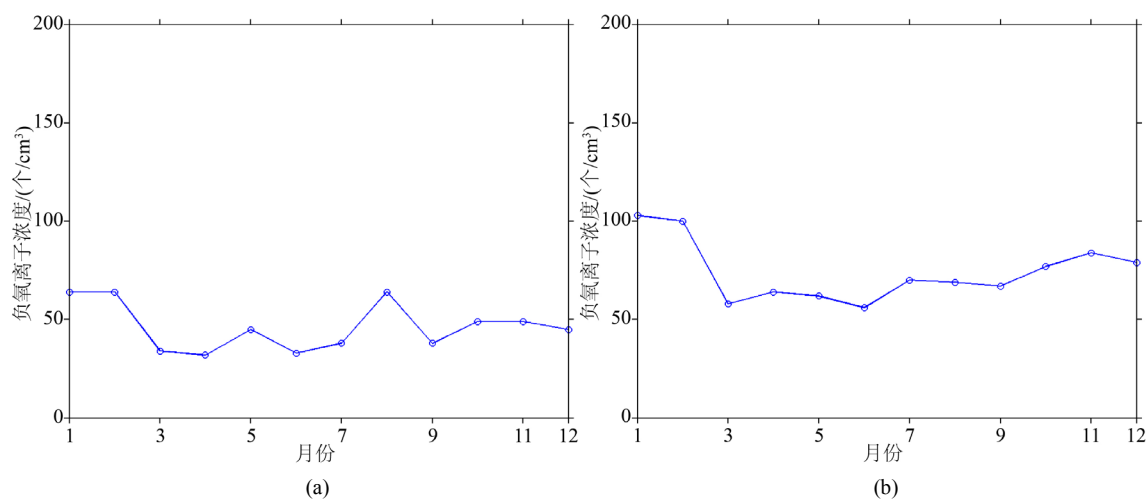
Table 1. The seasonal distribution of oxygen anion concentrations in Wenzhou (unit: number per cubic centimeter)
表 1. 温州地区负氧离子浓度季节分布(单位: 个/cm³)

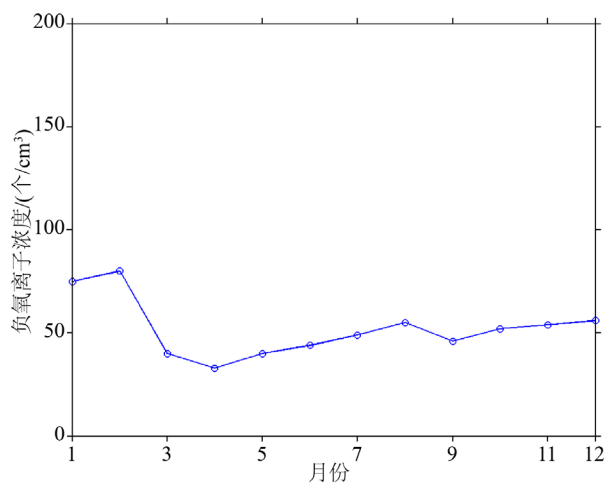
站点	春	夏	秋	冬
乐清	37	45	45	58
大罗山	62	65	76	94
永嘉	38	49	51	70
温州	36	78	57	61
泰顺	76	128	106	106
文成	35	30	61	90
平阳	29	34	39	51
瑞安	48	55	61	73
苍南	38	42	81	65
洞头	36	60	38	40

图 2 为温州地区空气负氧离子浓度的月变化, 可见除了泰顺表现为多峰特征外, 其余站点的月变化表现为单峰或双峰特征。乐清负氧离子浓度的月变化表现为双峰特征, 峰值出现在冬季的 1 月、2 月和夏季的 8 月; 大罗山负氧离子浓度的月变化表现为单峰特征, 峰值出现在冬季的 1 月; 永嘉负氧离子浓度的月变化表现为单峰特征, 峰值出现在冬季的 2 月; 温州负氧离子浓度的月变化表现为双峰特征, 峰值出现在冬季的 2 月和夏季的 7 月; 文成、平阳、瑞安负氧离子浓度的月变化表现为单峰特征, 峰值出现在冬季的 1 月; 苍南负氧离子浓度的月变化表现为双峰特征, 峰值出现在冬季的 1 月和秋季的 9 月; 洞头负氧离子浓度的月变化表现为单峰特征, 峰值出现在夏季的 6 月; 泰顺负氧离子浓度的月变化表现为多峰特征, 峰值出现在冬季的 1 月和 2 月, 夏季的 6 月和 8 月, 以及秋季的 11 月。

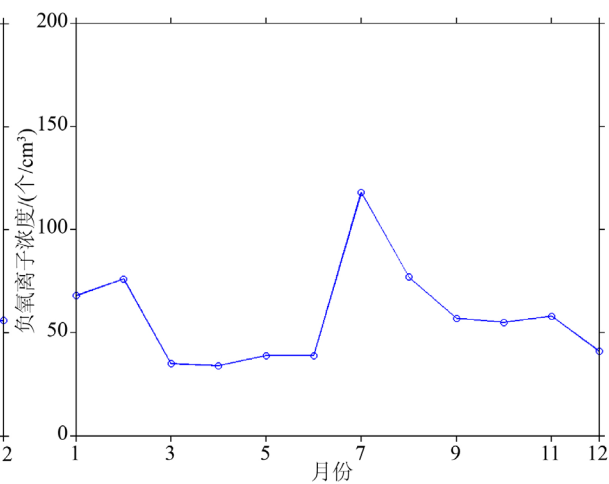
3.1.3. 负氧离子浓度日变化

图 3 为温州地区各站 2019 年 3 月~2020 年 2 月平均的负氧离子浓度日变化。由图可见, 乐清、永嘉、温州、平阳、瑞安和洞头负氧离子浓度的日变化相对较小; 大罗山、泰顺、文成和苍南负氧离子浓度的日变化相对明显, 大罗山和苍南负氧离子浓度分布总体上呈 U 型, 上午 9 时之前较高, 其后开始下降, 14 时左右降到最低, 然后浓度开始逐渐增大, 直到第二日上午; 泰顺和文成负氧离子浓度分布总体上呈 W 型, 早晨和傍晚处于低值区, 14 时左右达到峰值。

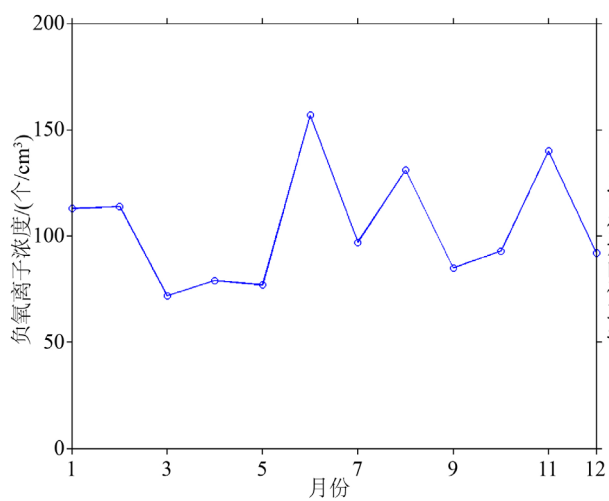




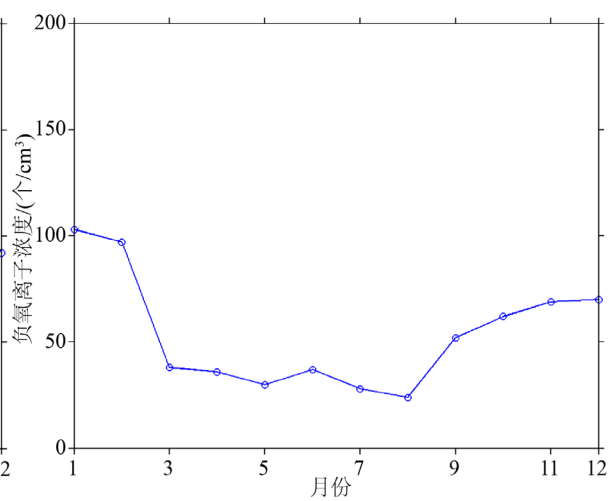
(c)



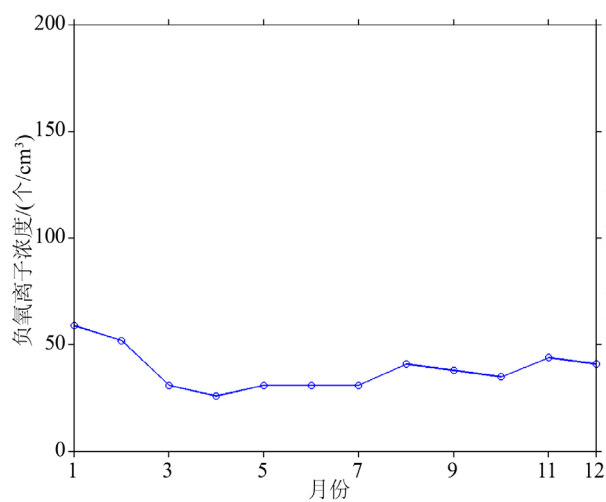
(d)



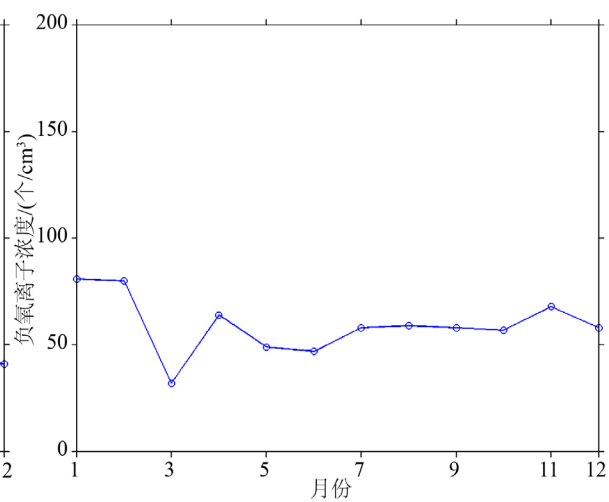
(e)



(f)



(g)



(h)

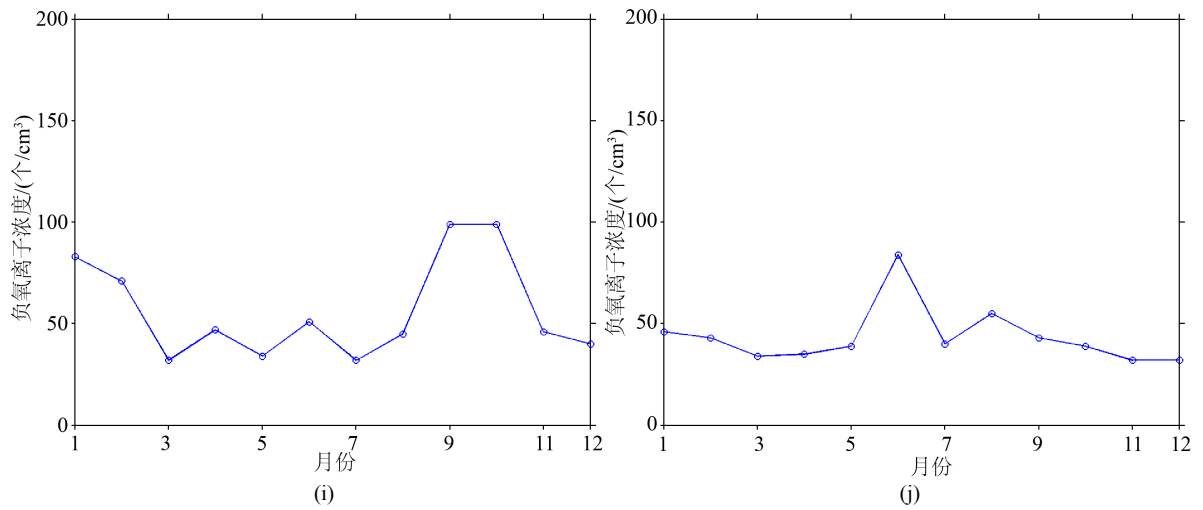
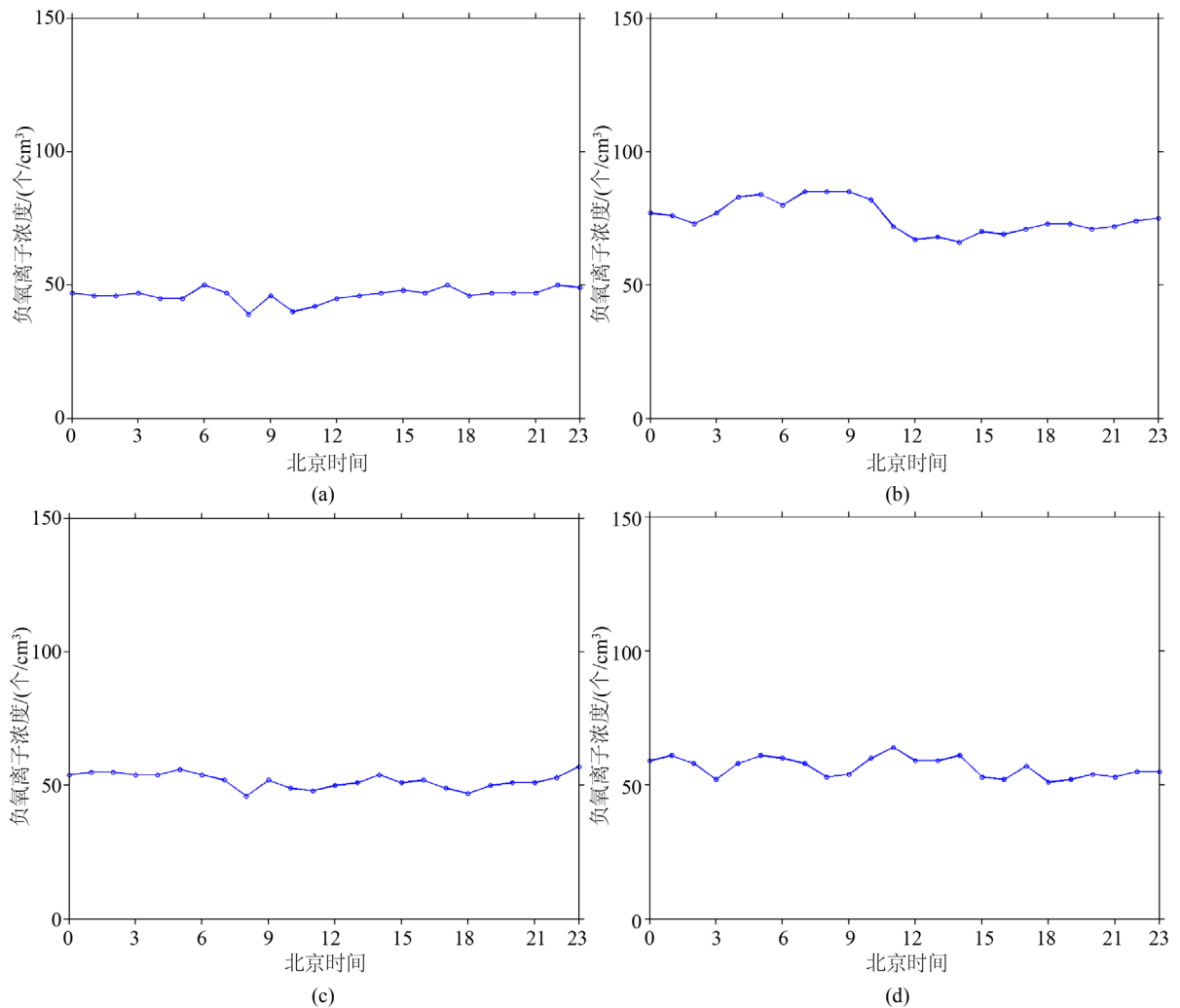


Figure 2. Variations of monthly oxygen anion concentration in Yueqing (a), Daluoshan (b), Yongjia (c), Wenzhou urban area (d), Taishun (e), Wencheng (f), Pingyang (g), Ruian (h), Cangnan (i) and Dongtou (j) of Wenzhou

图 2. 温州地区乐清(a)、大罗山(b)、永嘉(c)、温州(d)、泰顺(e)、文成(f)、平阳(g)、瑞安(h)、苍南(i)和洞头(j)负氧离子浓度月变化



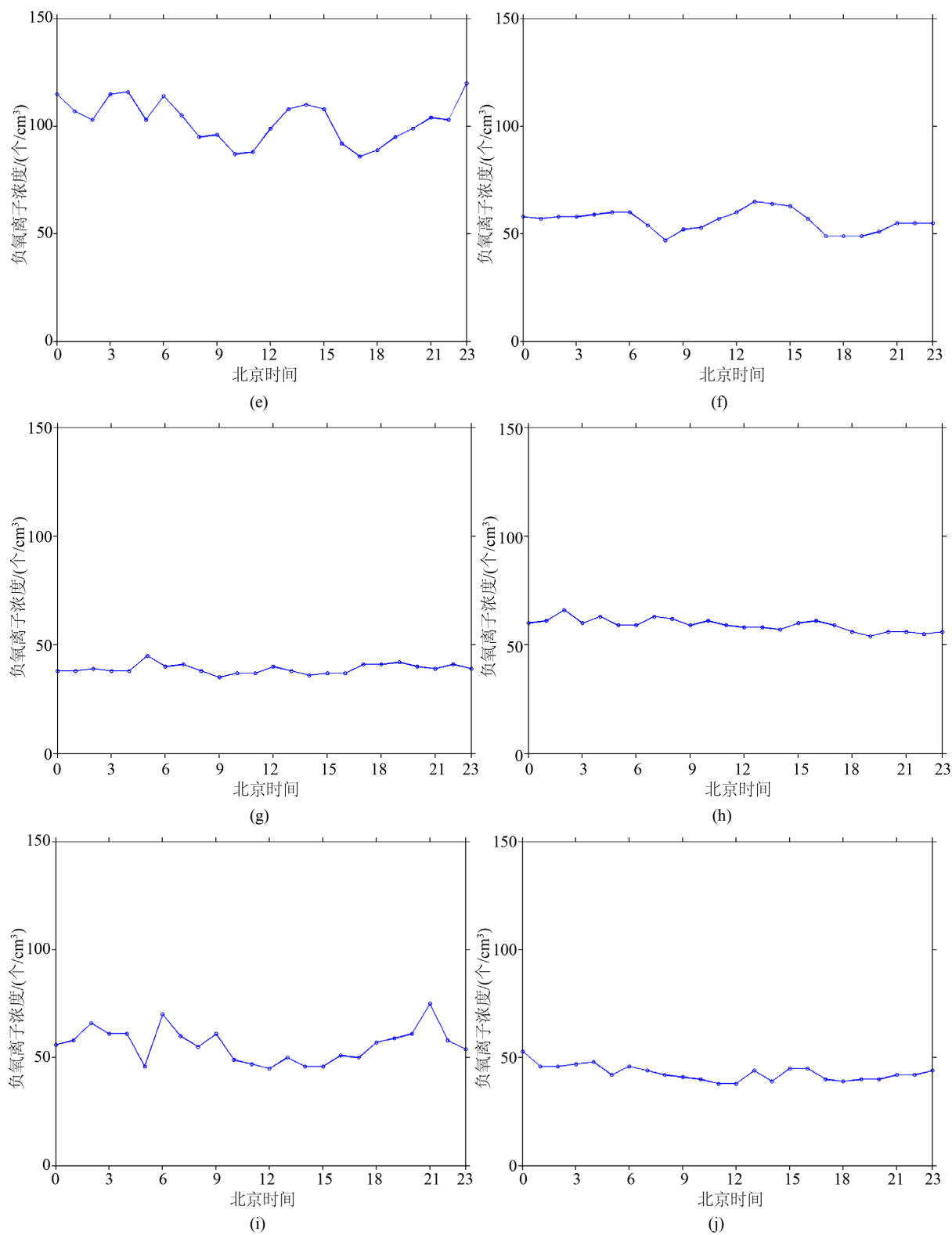


Figure 3. Variations of daily average oxygen anion concentration in Yueqing (a), Daluoshan (b), Yongjia (c), Wenzhou urban area (d), Taishun (e), Wencheng (f), Pingyang (g), Ruian (h), Cangnan (i) and Dongtou (j) of Wenzhou

图 3. 温州地区乐清(a)、大罗山(b)、永嘉(c)、温州(d)、泰顺(e)、文成(f)、平阳(g)、瑞安(h)、苍南(i)和洞头(j)负氧离子浓度日平均浓度变化

大罗山和苍南夜间负氧离子浓度较高,白天负氧离子浓度较低,最大值出现在早晨时段,最小值出现在中午时段,因此建议人们到大罗山和苍南康养旅游时在早晨出门,可以呼吸到负氧离子含量相对较高的清新空气。泰顺和文成中午时段负氧离子浓度较高,早晨和傍晚负氧离子浓度较低,因此建议人们到泰顺和文成康养旅游时在中午出门,可以呼吸到负氧离子含量相对较高的清新空气。

3.2. 负氧离子与气象因素的关系及预测模型

3.2.1. 负氧离子浓度与气象因素的关系

对温州地区各站做 2019 年 3 月~2020 年 2 月日平均负氧离子浓度与气温、相对湿度、风速等气象因素的相关性分析,选用日雨量、日平均气温、日最高气温、日最低气温、日最大风速、日极大风速、日平均湿度等 7 个气象因素。

由表 2 可知,乐清站日雨量、最大风速和极大风速这 3 个气象因子与负氧离子浓度的相关性显著,均为正相关,相关系数在 0.4 以上;大罗山站与平均气温、最高气温、最低气温、平均湿度显著负相关(相关系数为-0.34~-0.2),与极大风速显著正相关(相关系数为 0.22);永嘉站与平均气温、最高气温、最低气温显著负相关(相关系数为-0.39~-0.24),与日雨量、最大风速、极大风速显著正相关(相关系数为 0.21~0.26);文成站与平均气温、最高气温、最低气温显著负相关(相关系数为-0.54~-0.43);平阳站与平均气温、最高气温、最低气温显著负相关(相关系数为-0.34~-0.31),与最大风速、极大风速显著正相关(相关系数为 0.41~0.44);瑞安站与极大风速显著正相关(相关系数为 0.25);温州站、泰顺站、苍南站和洞头站负氧离子浓度与上述 7 个气象因素相关性不明显。

Table 2. Correlation coefficient between diurnal oxygen anion concentration and meteorological elements in Wenzhou

表 2. 温州地区日负氧离子浓度与气象因素的相关系数

站点	日雨量	平均气温	最高气温	最低气温	最大风速	极大风速	平均湿度
乐清	0.4	-0.15	-0.17	-0.11	0.42	0.44	-0.05
大罗山	0	-0.27	-0.2	-0.29	0.04	0.22	-0.34
永嘉	0.24	-0.31	-0.39	-0.24	0.21	0.26	-0.06
温州	0.02	0.15	0.12	0.16	0.05	0.11	-0.04
泰顺	0.14	0.09	0.06	0.1	0	-0.03	0.05
文成	0.03	-0.5	-0.54	-0.43	0	0.1	-0.17
平阳	0.12	-0.34	-0.34	-0.31	0.41	0.44	-0.16
瑞安	0.09	-0.12	-0.13	-0.11	0.19	0.25	-0.13
苍南	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	-0.01
洞头	0.09	0.07	0.05	0.08	0.02	0.02	0.08

3.2.2. 负氧离子预测模型

由 3.2.1 节可知,温州站、泰顺站、苍南站和洞头站负氧离子浓度变化与气象因素基本无关,因此无法通过筛选多元回归预报因子建立预测方程。乐清站选择日雨量和极大风速作为多元回归预报因子。大罗山站选择平均气温、最高气温、最低气温、极大风速、平均湿度作为多元回归预报因子。永嘉站选择日雨量、平均气温、最高气温、最低气温、极大风速作为多元回归预报因子。文成站选择平均气温、最高气温、最低气温作为多元回归预报因子。平阳站选择平均气温、最高气温、最低气温、极大风速作为多元回归预报因子。瑞安站选择极大风速作为一元回归预报因子。

本文利用入选预报因子和负氧离子浓度资料,进行多元回归计算,最后得到乐清、大罗山、永嘉、文成、平阳和瑞安日负氧离子浓度预报回归方程:

乐清回归方程:

$$y = 20.11 + 0.57R + 2.49V \quad (3)$$

大罗山回归方程:

$$y = 107.67 - 5.47T + 3.34T_{\max} + 0.99T_{\min} + 2.28V - 0.67RH \quad (4)$$

永嘉回归方程:

$$y = 73.45 + 0.14R + 2.42T - 3.72T_{\max} - 0.18T_{\min} + 3.92V \quad (5)$$

文成回归方程:

$$y = 124.11 - 2.94T - 1.82T_{\max} + 1.97T_{\min} \quad (6)$$

平阳回归方程:

$$y = 34.78 - 1.59T - 0.05T_{\max} + 0.61T_{\min} + 2.61V \quad (7)$$

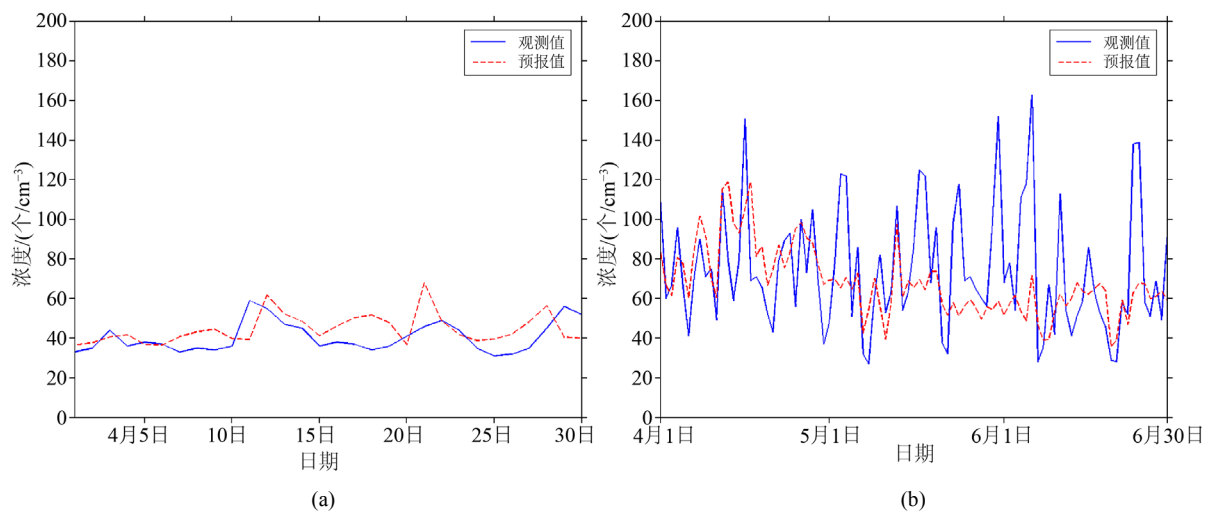
瑞安回归方程:

$$y = 34.20 + 3.43V \quad (8)$$

式(3)~式(8)中, y 为空气负氧离子浓度; R 为日雨量; T 为日平均气温; T_{\max} 为日最高气温; T_{\min} 为日最低气温; V 为日极大风速; RH 为日平均相对湿度。

选取 2020 年 4~6 月作为负氧离子浓度预测模型的检验样本,其中剔除异常观测值之后,乐清和文成仅选取 4 月检验样本,瑞安选取 4~5 月检验样本。将式(3)~式(8)中气象要素的观测值分别代入相应的回归方程,计算出模型预报的空气负氧离子浓度,并与实际观测值进行对比(图 4)。从图 4 可以看出,模型预报值和实际观测值的变化趋势有较好的一致性,乐清、大罗山、永嘉、文成、平阳和瑞安观测与预报值的相关系数分别为 0.31、0.33、0.3、0.23、0.2 和 0.45,各站模型计算的预报值与观测值显著相关。除个别样本外,预报值与观测值在量级上较为接近,方程具有较好的预报能力。

需要说明的是,在个别极值样本中,预报与观测值的误差略大,这可能是影响负氧离子浓度的要素众多,预测模型只引入了有限的气象因子,故模型难以全面体现。另外,个别观测极值可能是观测仪器出现故障导致的,观测值本身不准确。



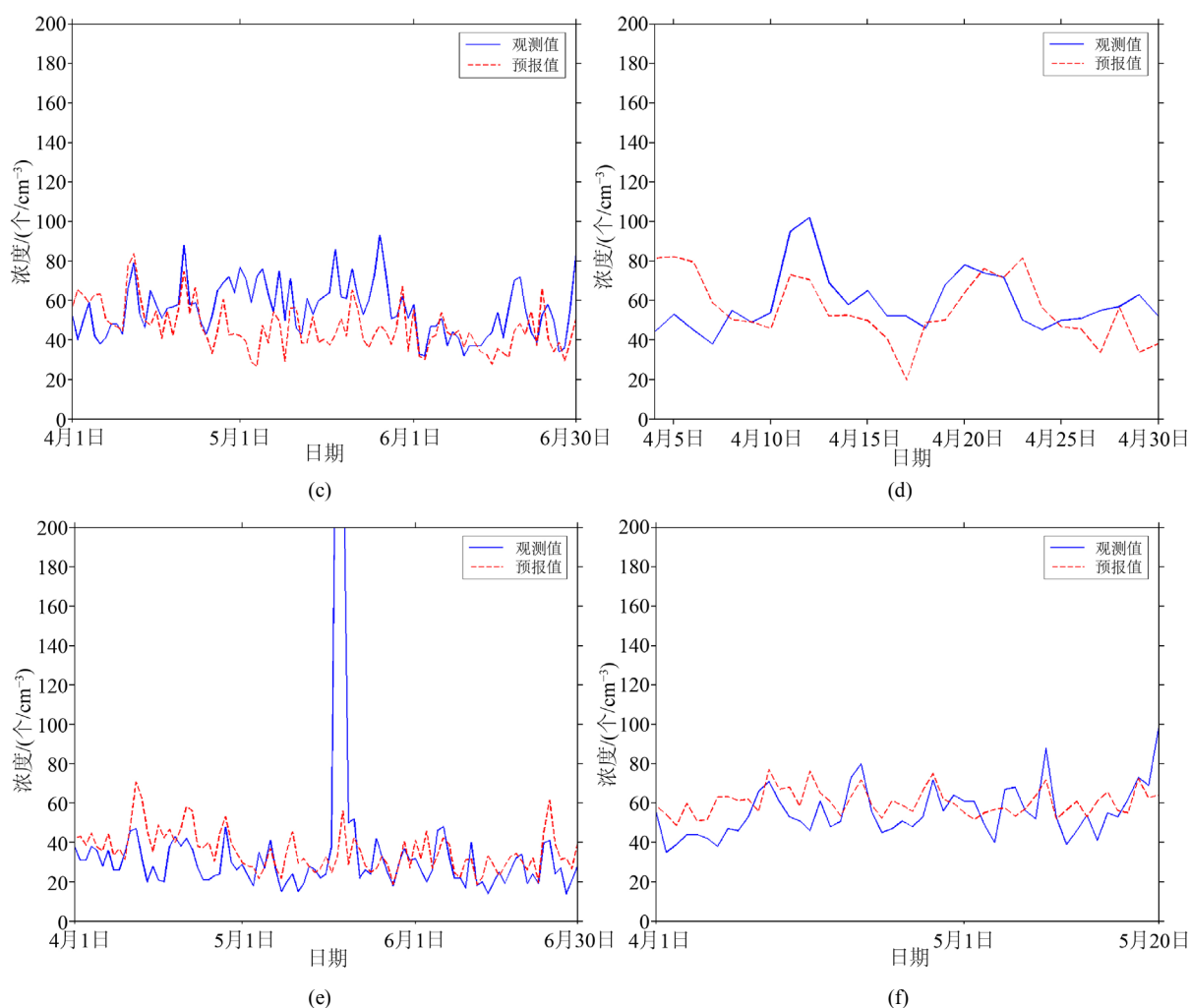


Figure 4. Comparison between the observed and simulated oxygen anion concentration in Yueqing (a), Daluoshan (b), Yongjia (c), Wencheng (d), Pingyang (e) and Ruian (f) of Wenzhou

图 4. 温州地区乐清(a)、大罗山(b)、永嘉(c)、文成(d)、平阳(e)和瑞安(f)负氧离子浓度观测值和预报值比较

温州、泰顺、苍南和洞头负氧离子浓度变化与气象因素相关性小，因此无法通过筛选多元回归预报因子建立预测方程，但可以通过温州与瑞安、泰顺与大罗山、苍南与瑞安、洞头与乐清负氧离子浓度接近的关系以及上述 6 个回归方程实现温州、泰顺、苍南和洞头负氧离子浓度的预测。

4. 结论与讨论

(1) 温州地区泰顺的年均负氧离子浓度最高，为 102 个/cm³，其次为大罗山 75 个/cm³，这两个站均为高山站。平阳、洞头、乐清的负氧离子浓度较低，均在 50 个/cm³ 以下，其中平阳最低，为 39 个/cm³。永嘉、温州、瑞安、文成、苍南的负氧离子浓度较为接近，在 50~60 个/cm³ 之间。

(2) 乐清、大罗山、永嘉、平阳、瑞安负氧离子浓度以冬季最高，春季最低；温州、泰顺、洞头负氧离子浓度以夏季最高，春季最低；文成负氧离子浓度以冬季最高，夏季最低；苍南负氧离子浓度以秋季最高，春季最低。

(3) 乐清、永嘉、温州、平阳、瑞安和洞头负氧离子浓度的日变化相对较小；大罗山和苍南夜间负氧离子浓度较高，白天负氧离子浓度较低，最大值出现在早晨时段，最小值出现在中午时段，因此建议人

们到大罗山和苍南康养旅游时在早晨出门,可以呼吸到负氧离子含量相对较高的清新空气;泰顺和文成中午时段负氧离子浓度较高,早晨和傍晚负氧离子浓度较低,因此建议人们到泰顺和文成康养旅游时在中午出门,可以呼吸到负氧离子含量相对较高的清新空气。

(4) 影响负氧离子浓度的气象因子主要是雨量、气温、风速和湿度。总体上,负氧离子浓度与雨量、风速呈正相关关系,与气温、湿度呈负相关关系。

(5) 根据空气负氧离子浓度与气象条件之间的相关性,采用多元回归方法建立了温州市负氧离子预测模型,经检验模型预报效果良好。负氧离子预测模型的建立实现了温州地区负氧离子浓度的定量化预报,这为提高生态旅游气象服务能力具有重要意义。

由于观测资料问题,所建立的预测模型较粗略,有待于进一步改进。随着观测资料的完善,对负氧离子浓度将做进一步分析研究,模型预报准确率也将进一步提高。

基金项目

温州市气象局项目(2018ZD01)资助。

参考文献

- [1] 邵海荣,贺庆棠. 森林与空气负离子[J]. 世界林业研究, 2000, 13(5): 19-23.
- [2] 吴楚材,郑群明,钟林生. 森林游憩区空气负离子水平的研究[J]. 林业科学, 2001, 37(5): 75-81.
- [3] 章志攀,俞益武,孟明浩,等. 旅游环境中空气负离子的研究进展[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(1): 103-108.
- [4] 章志攀,俞益武,张明如,等. 天目山空气负离子浓度变化及其与环境因子的关系[J]. 浙江农林大学学报, 2008, 25(4): 481-485.
- [5] 蒙晋佳,张燕. 广西部分景点地面上空气负离子浓度的分布规律[J]. 环境科学研究, 2004, 17(3): 25-27.
- [6] 邵海荣,贺庆棠,阎海平,等. 北京地区空气负离子浓度时空变化特征的研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(3): 35-39.
- [7] 丛菁,孙立娟. 大连市负氧离子浓度分布及预测模型的建立[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(4): 44-47.
- [8] 孟丽红,张敏,姚青. 2009年天津城区空气负离子变化规律[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(1): 27-29.
- [9] 顾小丽,钱燕珍,鲍岳建,等. 宁波市负氧离子浓度分布与预测模型及其在旅游气象中的应用[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(6): 128-133.
- [10] 穆丹,梁英辉. 佳木斯绿地空气负离子浓度及其与气象因子的关系[J]. 应用生态学报, 2009(8): 2038-2041.
- [11] 崔会平,徐文俊. 竹林空气负离子浓度状况及变化规律研究[J]. 农学学报, 2011, 20(6): 35-39.
- [12] 李少宁,王燕,张玉平,等. 北京典型园林植物区空气负离子分布特征研究[J]. 北京林业大学学报, 2012, 32(1): 131-135.
- [13] 王顺利,刘贤德,金铭,等. 甘肃省森林区空气负离子分布特征研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1563-1568.
- [14] 曾曙才,苏志尧,陈北光. 广州绿地空气负离子水平及其影响因子[J]. 生态学杂志, 2007, 26(7): 1049-1053.