

南昌站大气CO₂浓度变化特征

冯敏玉¹, 许怡欣¹, 王国锋^{2*}, 甘瑞杰¹, 邓超¹

¹江西省南昌市气象局, 江西 南昌

²江西省生态环境科学研究与规划院, 江西 南昌

收稿日期: 2022年6月14日; 录用日期: 2022年7月15日; 发布日期: 2022年7月25日

摘要

二氧化碳是最突出的温室气体之一, 是导致全球变暖的主要原因。为研究南昌近地面CO₂浓度变化情况, 通过南昌市温室气体监测站, 对2019年1月到2020年12月期间, 在距离地面30 m和50 m高度上的CO₂浓度值进行日变化、月变化和季节变化的特征分析, 并与2019年瓦里关12个月的浓度值做比对。研究表明一天中CO₂浓度呈现早晚高, 中午低的趋势, 且冬季时CO₂变化幅度最小, 春季变化幅度最大。一年中CO₂浓度呈现波动性季节分布特征: 1~2月浓度较低, 为434~450.4 ppm, 3~5月起伏变化, 但总体下降, 为433.5~446.1 ppm, 6~8月又呈现下降趋势, 浓度值为418.2~436.9 ppm, 8月时CO₂浓度最低418.2 ppm, 9~12月呈现上升趋势, 浓度值为423.9~589.5 ppm, 在12月份升至最高值589.5 ppm, 总体上表现为冬季高, 夏季低, 春秋季节CO₂浓度处于两者之间。其中植物的光合作用可吸收CO₂, 大气扩散作用稀释CO₂, 而化石燃料的燃烧可增加CO₂排放。

关键词

二氧化碳, 浓度, 日变化, 月变化, 季节变化

Variation Characteristics of Atmospheric CO₂ Concentration at Nanchang Station

Minyu Feng¹, Yixin Xu¹, Guofeng Wang^{2*}, Ruijie Gan¹, Chao Deng¹

¹Nanchang Meteorological Bureau, Nanchang Jiangxi

²Jiangxi Academy of Eco-Environmental Sciences and Planning, Nanchang Jiangxi

Received: Jun. 14th, 2022; accepted: Jul. 15th, 2022; published: Jul. 25th, 2022

Abstract

Carbon dioxide is one of the most prominent greenhouse gases and is the main cause of global

*通讯作者。

warming. In order to study the variation of CO₂ concentration near the ground in Nanchang, the characteristics of diurnal, monthly and seasonal variations of CO₂ concentration at 30 m and 50 m above the ground during January 2019 to December 2020 were analyzed by using Nanchang Greenhouse Gas Monitoring Station, and then compared with the concentration in Waliguan for 12 months in 2019. The results showed that the CO₂ concentration was higher in the morning and evening and lower at noon, and the variation range of CO₂ was the least in winter and the largest in spring. The seasonal distribution characteristics of CO₂ concentration in a year are as follows: From January to February, the concentration was low, 434~450.4 ppm; From March to May, it fluctuated, but the overall decrease was 433.5~446.1 ppm; From June to August, it showed a downward trend, the concentration was 418.2~436.9 ppm; In August, the CO₂ concentration was 418.2 ppm at its maximum, and from September to December, it showed an upward trend. The concentration was between 423.9 and 589.5 ppm, rising to the highest value of 589.5 ppm in December. Generally speaking, the concentration was high in winter and low in summer, and the CO₂ concentration in spring and autumn was between the two. Plant photosynthesis can absorb CO₂, atmospheric diffusion dilutes CO₂ and fossil fuel combustion can increase CO₂ emissions.

Keywords

Carbon Dioxide, Concentration, Diurnal Variation, Monthly Variation, Seasonal Variation

Copyright © 2022 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

二氧化碳(CO₂)是最突出的温室气体之一,对于气候和气候变化有重要作用。大气中 CO₂ 主要来源于海洋释放、动物呼吸、化石燃料燃烧和土地利用变化;通过植物光合作用、海洋表面的溶解和碳沉积而去除[1]。

近年来,经济飞速发展,能源消耗加快,人类活动的影响和化石燃料的燃烧,使得 CO₂ 浓度不断提高[2]。CO₂ 浓度增高引起的温室效应,带来了一系列的环境问题,例如全球温度升高,反常的厄尔尼诺现象和北极冰川消融、海平面上升等情况。

为了更好地应对温室效应等问题,我们需要准确观测二氧化碳的浓度的时空分布。理论研究表明,卫星观测大气二氧化碳浓度有潜力减少二氧化碳通量的不确定性,已成为一种重要的大气二氧化碳观测手段。日本于 2009 年 1 月成功发射温室气体观测卫星(GOSAT),通过卫星在太空轨道上搜集全球甲烷和二氧化碳的分布情况,为制定碳排放政策提供相关依据[3]。2014 年 7 月,美国用一枚运载火箭将 OCO-2 卫星送入预定轨道,2016 年 12 月,中国在酒泉成功发射了 TANSAT (碳卫星),2017 年 10 月,我国正式开放共享“碳卫星”的一些数据[4]。

1994 年,我国在青海省海南州共和县建立了青海瓦里关全球大气基准站(36°28'5"N, 100°8'9"E, 海拔 3816 m),它是全球最高的大气本底基准监测站,也是世界上第一个设在大陆腹地的大气本底基准监测站,它的建立填补了全球大气监测网(GAW)在欧亚大陆内的空白[5]。此本底站观测结果可以代替北半球中纬度内陆地区的大气温室气体浓度,可为全球大气数据共享提供科学依据。总体上,由于较少的人类活动以及植被、气候影响,影响瓦里关站 CO₂ 本底浓度的源汇区域表现为碳汇,并且各源、汇强度均相对较弱[6]。开展大气 CO₂ 本底浓度源汇区域代表性分析方法研究,对于观测站点布局和

CO₂ 数据应用具有重要意义。此后, 中国在北京上甸子、浙江临安和位于黑龙江省南部的龙凤山区域建立了 3 个大气本底监测站, 陆续又在新疆阿克达拉、云南香格里拉和湖北金沙建立 3 个区域大气本底监测站[7]。

南昌地区为亚热带季风气候, 冬季多偏北风, 夏季多偏南风。境内热量充足, 雨水充沛, 光照充足。作为省会城市, 现今工业发展进程加快, 城市温室效应明显。这种背景下研究探讨南昌市二氧化碳浓度变化特征和规律, 了解南昌市 CO₂ 源汇特征具有重要意义; 将同期研究结果与青海瓦里关站的数据进行比对, 分析人类活动对 CO₂ 浓度升高的贡献率, 可为城市大气环境治理提供一些参考依据。

2. 数据来源和研究方法

2.1. 数据来源

数据来源于南昌市温室气体监测站(NCZ, 115.77°E, 28.68°N), 该站位于江西省南昌市新建区西部, 站点海拔高度为 43 m, 监测站西北方向为湾里森林公园, 梅岭山区, 森林覆盖率达 71.2%以上, 其他三个方向都为城区, 其中东边紧邻南昌主城区。温室气体监测站于 2018 年建成, 2018 年年底设备进行试运行, 试运行期间数据连续稳定, 运行状态良好, 2019 年 1 月开始正式运行。

采样铁塔高 50 m, 监测要素有一氧化碳、二氧化碳、甲烷, 分别在距离地面高度为 30 m 和 50 m 高度处设置探头采样。

2.2. 仪器

数据利用 Picarro 的 G2401 温室气体浓度分析仪, 采用波长扫描光腔衰荡光谱技术, 可在紧凑的光腔内实现长达 20 km 的有效测量长度, 能达到优异的精度与灵敏度。得以 ppb 的灵敏度同步测量气体, G2401 遵从世界气象组织(WMO)及其他国际性网络(如欧洲综合碳观测系统, ICOS), 而且仪器在工作数月内的漂移可以忽略不计, 能够连续测量, 具有高精度、野外可部署性以及长期稳定性[8]。

2.3. 数据处理

选取 2019 年 1 月~2021 年 12 月距离地面高度为 30 m 和 50 m 两个高度上的小时平均浓度值作为研究对象。用 excel 筛选出大于月平均水平两倍以上, 作为异常值剔除掉, 其中 2020 年 8 月 L1 处多口阀故障, 没有数据; 2019 年 12 月后半个月进气口泵膜损坏, 数据被剔除。其中 L1 有 15,784 个数据, L2 有 15,786 个数据。统计月内以小时平均浓度为研究 CO₂ 浓度日变化, 以每个月的月平均浓度为研究 CO₂ 浓度月变化; 以季内 CO₂ 浓度的小时平均浓度为研究 CO₂ 浓度的季变化。日变化、月变化、季节变化曲线均用 origin 软件做图。

3. 结果与分析

3.1. 二氧化碳浓度的日变化特征

通过对 2019 年和 2020 年两年的每个月的日均变化逐个分析, 发现每个月的日均变化曲线形状相似, 均表现为早晚高, 下午低的分布特征, 且最高值在凌晨 1:00~9:00, 最低值分布在下午 14:00~17:00。其中 2019 年 5 月变化特征比较明显, 以此月为例(图 1), 是距地高度为 30 m 和 50 m 处 5 月的日均变化对比, 在距地高度为 30 m 处的变化曲线上, 从 1:00 开始上升, 在上午 7 时左右达到 CO₂ 浓度最高值 446.9 ppm, 之后开始下降, 在下午 16:00 降到最低浓度 425.5 ppm, 晚上又上升到较高浓度。距地高度为 30 m 处 CO₂ 浓度的日均变化和距地高度为 50 m 处相类似, 在上午 7:00 达到最高浓度 445.3 ppm, 在下午 16:00 降为最低浓度 425.5 ppm。

在 1:00~7:00 处 CO₂ 浓度升高, 此时没有阳光, 植物呼吸作用强, CO₂ 浓度积累了一定浓度。在 6:00~8:00 时处于早高峰时刻, 车流量、人流量比较大, 碳排放增大; 当阳光越来越强, 近地面大气边界层高度慢慢升高, 逆温层被破坏, CO₂ 得以向上输送; 且植物光合作用强度越来越大, 吸收 CO₂ 加强, 地面 CO₂ 浓度开始下降, 到下午 16:00 左右, CO₂ 浓度减至最低; 下午 17:00 后, 大气边界层高度降低, 多有高空逆温层, CO₂ 向上运动受到阻碍; 且太阳落山后植物不能进行光合作用, 植物呼吸作用逐渐加强, 地面 CO₂ 浓度开始增大[7]。除此之外的其他月份的月均日变化, 大多数都和图 1 相似, 偶有异常的变化, 可能和人类的生产生活活动的影响密切相关。

如图 2 所示, 是图 1 中 L1 和 L2 处 CO₂ 浓度值差值的绝对值变化, 从图中可以看出在 1:00~8:00 时两者的 CO₂ 浓度差值逐渐减小, 且在 1:00 处相差较大, 此时距地 30 m 处 CO₂ 浓度大于 50 m 处 CO₂ 浓度; 在 8:00~18:00 左右两者 CO₂ 浓度几乎相等, 随后在 18:00~24:00 时 CO₂ 浓度差明显上升, 且在 24:00 差值达到最大, 图中可以看出, 白天浓度差小, 夜间浓度差大。原因为: 白天有植物光合作用消耗 CO₂, 且白天气温升高, 空气对流增强, 所以上下两层 CO₂ 浓度差值较小, 夜间植物没有光合作用, 只有呼吸作用产生 CO₂, 加上气温下降, CO₂ 下沉, 导致两层浓度差变大。

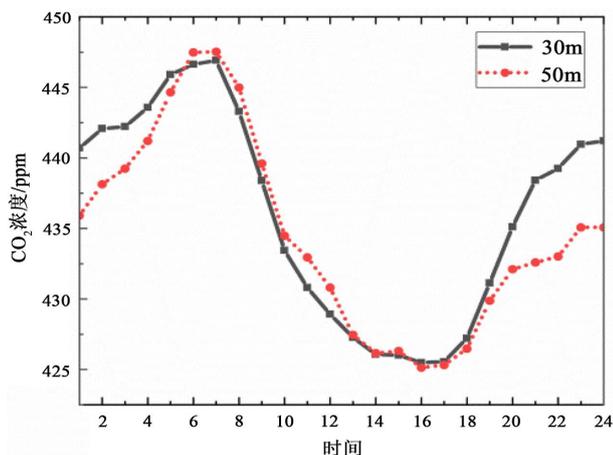


Figure 1. Average daily change in May 2019
图 1. 2019 年 5 月日均变化

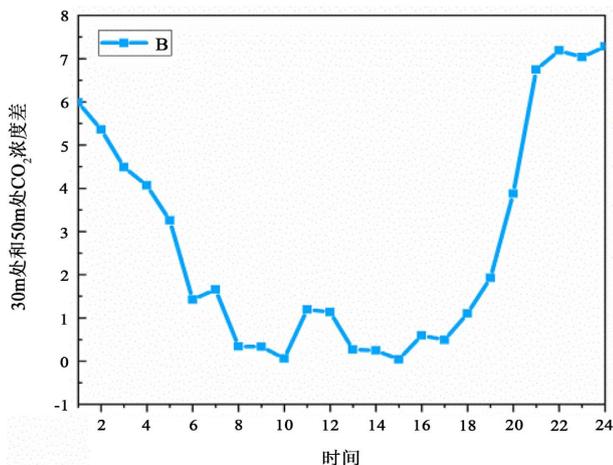


Figure 2. The absolute value change of the difference between L1 and L2
图 2. L1 和 L2 差值的绝对值变化

如图 3、图 4 所示, 分别在距地高度为 30 m 和 50 m 时, 统计了 2020 年春夏秋冬四个季节二氧化碳浓度的每个季度日均情况。其中, 在距地高度为 30 m 处, 冬季 8:00 有 CO₂ 浓度最高值 465.2 ppm, 在距地高度为 50 m 处, 冬季 9:00 有 CO₂ 浓度最高值 430.8 ppm; 在距地高度为 30 m 处, 夏季 14:00 处有最低值 431.1 ppm; 在距地高度为 50 m 处, 夏季 16:00 有最低值 457.8 ppm, 这和前面研究的月均日变化有相类似情况。

另外在距地高度为 30 m 和 50 m 处, 可以看出春季时 CO₂ 变化明显, 白天植物进行充分的进行光合作用, CO₂ 吸收加强, 夜晚植物呼吸作用较强, CO₂ 释放加强, 所以在春季时白天 CO₂ 浓度较低, 夜间 CO₂ 浓度较高[8]。夏季时植物在夜晚呼吸作用强, 但白天光合作用更强, 此时 CO₂ 浓度比其他季节都更低, 而在 14:00~16:00 时间内出现了异常值, 可能是受到人类活动的影响。秋季作物成熟, 白天时有一定的光合作用, 能够吸收部分 CO₂, 此时 CO₂ 浓度较低, 夜晚呼吸作用较强, CO₂ 浓度较高。在冬季时, CO₂ 浓度在一天内的变化幅度明显小于其他季节, CO₂ 浓度一直都处于较高水平。因冬季时白天时阳光较少, 植物能进行光合作用的时间少, 植物叶片掉落, 缺少光合作用作用场所, 光合作用较弱, CO₂ 吸收减弱, 夜晚时城市供暖加强, 所以冬季的白天夜晚的 CO₂ 浓度比其他季节更高。

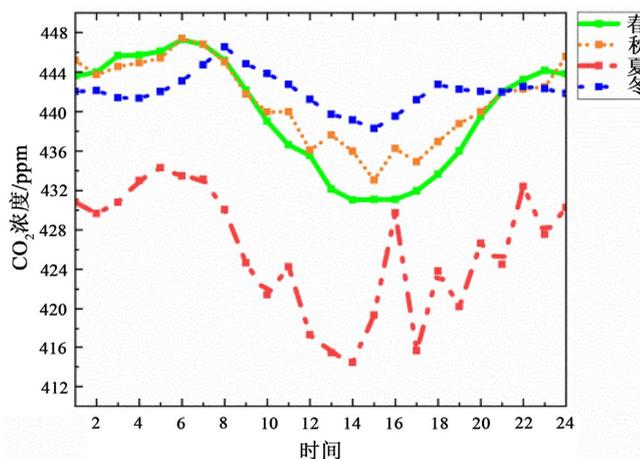


Figure 3. Daily average change at 30 m in 2020

图 3. 2020 年在 30 m 处日均变化

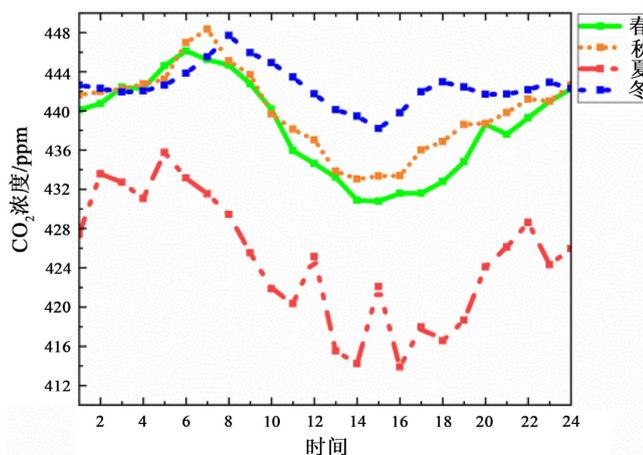


Figure 4. Daily average change at 50 m in 2020

图 4. 2020 年在 50 m 处日均变化

3.2. 二氧化碳浓度的月变化特征

对2019年和2020年分别在30 m处和50 m的CO₂浓度的月变化进行分析,从图5可以看出,CO₂浓度在1~2月下降,3~5月起伏变化,浓度总体呈现下降趋势,在6~8月时为一年中最低CO₂浓度。例如距地高度50 m处,2019年8月为418.3 ppm,2020年6月为426.9 ppm,均是一年中的最低浓度值。这是因为此时大气边界层高度升高,大气对流增强,CO₂向上输送,地面CO₂浓度不断下降[8]。从9~12月呈现上升趋势,在12月份升至较高值。例如在距地高度为50 m处,2019年12月CO₂浓度为465.0 ppm,2020年12月CO₂浓度为457.5 ppm,均为一年中浓度最高值。这是因为12月温度较低,天气阴冷,近地边界层高度降低,高空逆温层阻碍了CO₂向上扩散,再加上城市供暖,CO₂浓度较其他季节高[7]。从图6可以看出,30 m处变化与在50 m处变化相似,但在2019年30 m处,CO₂浓度从9月到12月迅速增大,可能与人类活动的影响(施工)和城市冬季供暖所致。

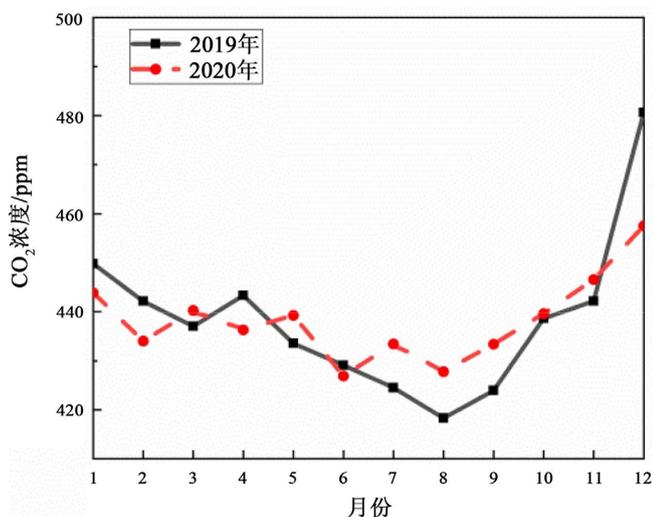


Figure 5. Monthly variation at 50 m

图5. 在50 m处的月变化

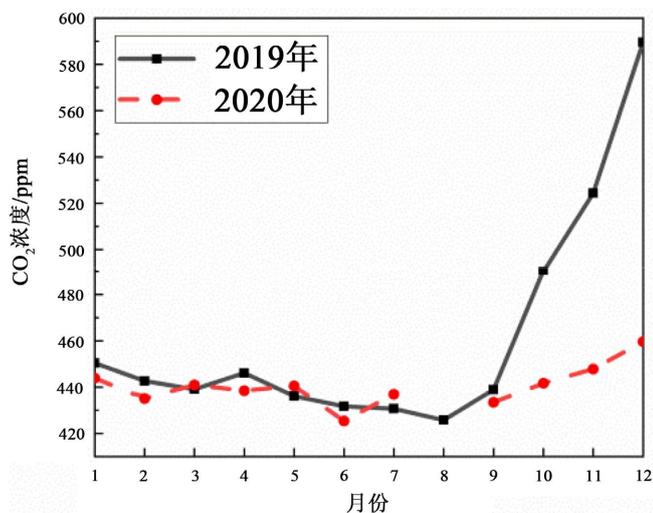


Figure 6. Monthly variation at 30 m

图6. 在30 m处的月变化

3.3. 二氧化碳浓度的季变化特征

对 2019 年和 2020 年分别在 30 m 处和 50 m 的 CO₂ 浓度的季度变化进行分析, 我们把一年的 3/4/5 月划为春季, 6/7/8 月划为夏季, 9/10/11 月划为秋季, 12 月和来年 1/2 月划为冬季。从图 7 中可以看出 CO₂ 浓度在冬季和春季时普遍比夏秋两季的 CO₂ 浓度高, 这是因为在夏季, 空气水平输送, 大气垂直运动剧烈, 有利于 CO₂ 扩散, 此时植物生长茂盛, 光照充足, 得以充分进行光合作用, 吸收 CO₂ 加强, 地面 CO₂ 浓度最低。秋季作物成熟后, 虽然田间农作物减少, 光合作用减弱, 但还是表现出一定的 CO₂ 吸收能力[9]。冬季时城市对流减弱, 不利于 CO₂ 稀释扩散; 植被减少, 阳光减少, 植物没有进行充足的光合作用, 吸收 CO₂ 减弱; 再加上冬季城市取暖大量燃烧化石燃料, CO₂ 排放增强, 大气中 CO₂ 浓度偏高。在春季, CO₂ 浓度相对较高, 主要是冬季浓度最高, 在春季时有累积效果[10]。而且此时植物叶片在生长阶段, 光合作用不强, 吸收二氧化碳较少。在图 8 中显示 2019 年秋季明显比同年 CO₂ 浓度高, 则可能是因为当时监测站在施工。

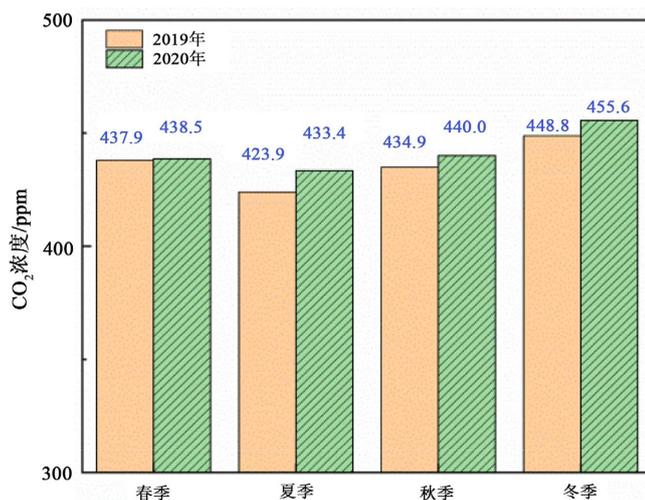


Figure 7. Seasonal variation at 50 m

图 7. 在 50 m 处季变化

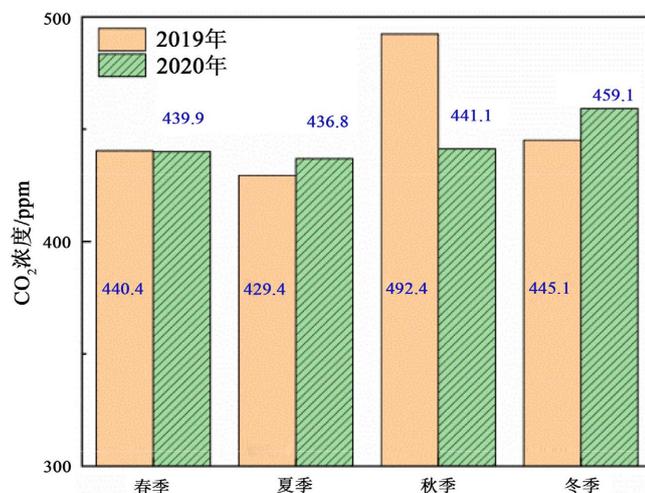


Figure 8. Seasonal variation at 30 m

图 8. 在 30 m 处季变化

3.4. 与瓦里关本底站 2019 年 CO₂ 浓度变化对比

3.4.1. 与瓦里关本底站月变化对比

如图 9 所示, 是 2019 年青海瓦里关大气本地基准监测站在 80 m 高度处的 CO₂ 浓度与南昌市温室气体监测站在 30 m 和 50 m 处 CO₂ 浓度对比图, 可以看出在南昌市 30 m 和 50 m 处 CO₂ 浓度明显高于瓦里关浓度。三条曲线都在 4 月份时达到了较高水平, 其中瓦里关 80 m 处 CO₂ 浓度在 4 月达到最高浓度 415.09 ppm, 5~8 月都有下降趋势, 此时为全年较低浓度, 其中瓦里关 80 m 处 CO₂ 浓度在 7 月达到最低浓度 408.83 ppm, 此时大气水平运输, 空气垂直运动强烈, CO₂ 稀释后浓度降低。瓦里关山周边环境主要为高原草甸和沙洲, 植被光合作用较强。9~12 月 CO₂ 浓度趋于上升, 主要是因为此时大气对流减弱, CO₂ 扩散减弱; 化石燃料的燃烧, CO₂ 排放增加。从图中可以看出瓦里关 CO₂ 浓度值都比较低, 且月变化幅度较为平稳, 是由于瓦里关处方圆 50 公里没有建设任何工矿企业, 经过的航班也做了更改, 受人类活动影响较小。

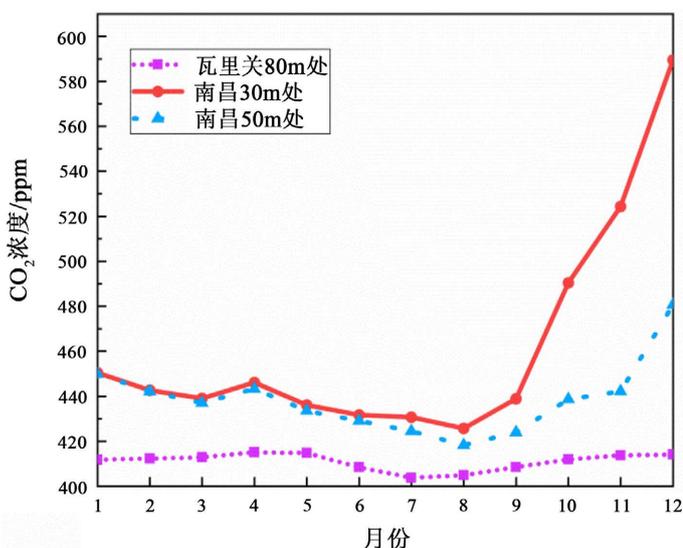


Figure 9. Comparison of monthly average changes in 2019

图 9. 2019 年月平均变化对比

3.4.2. 与瓦里关本底站季变化对比

如图 10 所示, 是 2019 年南昌监测站 30 m 处和 50 m 处与瓦里关 80 m 处的月变化对比, 和南昌监测站相似, 季节变化特征为夏秋季低, 冬春季高。夏秋季节时, 高原草甸区为生长旺季, 阳光充足, 植被光合作用增强, 吸收的 CO₂ 较多。尽管此时土壤微生物呼吸作用也很强烈, 但总体上 CO₂ 浓度降低, 例如夏季时瓦里关为最低浓度 405.76 ppm [11]。冬春季节时, 植被光合作用较弱, 而此时人类取暖排放更多的 CO₂, CO₂ 浓度升高, 例如春季时为最高浓度 414.27 ppm。从图中可以看出南昌检测站 CO₂ 浓度高于瓦里关处 CO₂ 浓度, 主要是因为南昌市人群密集, 碳排放更高, 受人类活动影响大。

3.4.3. 与瓦里关本底站年变化对比

如图 11 所示, 是 2019 年南昌监测站 30 m 处和 50 m 处与瓦里关 80 m 处的年平均浓度对比, 可以看出在南昌监测站 30 m 处年平均 CO₂ 浓度高于 50 m 处的, 这是受高空大气的扩散作用影响, CO₂ 经扩散后浓度降低, 瓦里关本底站 80 m 处的年平均 CO₂ 浓度相比较低, 根据南昌监测站 50 m 处和瓦里关本底站 CO₂ 浓度值计算, 人类活动影响对 CO₂ 浓度升高的贡献率为 6%。

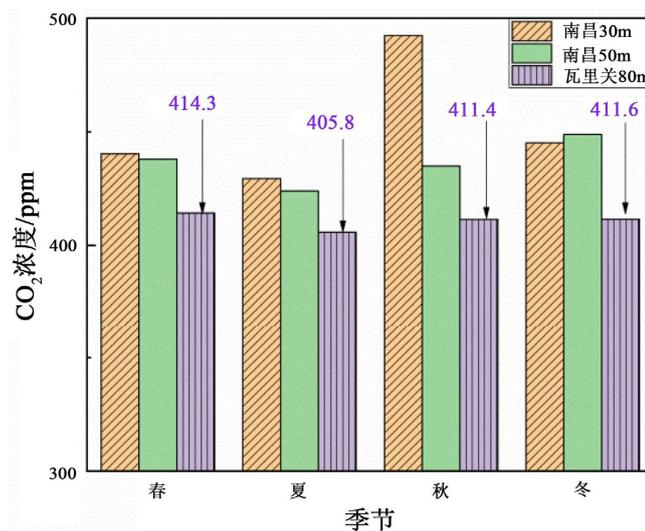


Figure 10. Comparison of quarterly average changes in 2019
图 10. 2019 年季平均变化比对

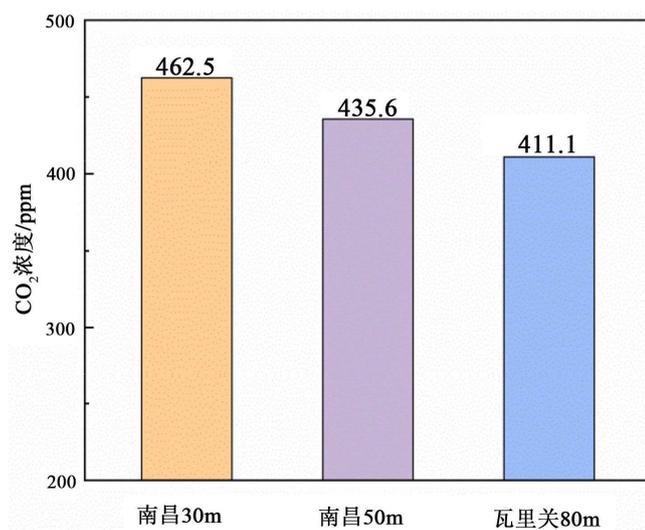


Figure 11. Comparison of the annual average concentration of CO₂ in 2019
图 11. 2019 年 CO₂ 年平均浓度比对

4. 结论

通过对江西省南昌市温室气体监测站的 CO₂ 在线观测的数据进行不同时间尺度的浓度变化特征分析并与本底监测站进行了对比分析, 得出以下几点结论:

- 1) CO₂ 浓度日变化呈现早晚高, 下午低。且 CO₂ 浓度在春季时日变化幅度大, 在冬季时日变化幅度小。
- 2) CO₂ 浓度月变化表现为 1~2 月浓度低, 3~5 月起伏变化但总体下降, 6~8 月明显下降, 8 月 CO₂ 浓度最低, 9~12 月呈现上升趋势, 在 12 月份达到最高浓度。
- 3) CO₂ 浓度在一年的春季有较高浓度, 夏季 CO₂ 浓度下降到最低值, 在秋季上升一定浓度后, 冬季达到最高浓度。

4) 与瓦里关本底基准监测站相比较, 南昌市温室气体监测站所监测的 CO₂ 浓度更高, 人类活动影响对 CO₂ 浓度升高的贡献率为 6%。

基金项目

江西省气象科技重点项目(No. 201905); 江西省气象科技面上项目(JX2020M16)。

参考文献

- [1] Bai, W.G., Zhang, X.Y. and Zhang, P. (2010) Temporal and Spatial Distribution of Tropospheric CO₂ over China Based on Satellite Observations. *Chinese Science Bulletin*, **55**, 3612-3618. <https://doi.org/10.1007/s11434-010-4182-4>
- [2] Ou, J.P., Lin, X.P., Li, X., et al. (2013) Quantifying the Relationship between Urban Forms and Carbon Emissions Using Panel Data Analysis. *Landscape Ecology*, **28**, 1889-1907.
- [3] 邓安健, 郭海波, 胡洁, 等. GOSAT 卫星数据监测中国大陆上空 CO₂ 浓度时空变化特征[J]. 遥感学报, 2020, 24(3): 319-325.
- [4] 陈良富, 张莹, 邹铭敏, 等. 大气 CO₂ 浓度卫星遥感进展[J]. 遥感学报, 2015, 19(1): 1-11.
- [5] 王宁章, 李明, 李宝鑫. 瓦里关地区大气 CO₂ 和 CH₄ 浓度的变化特征[J]. 科技视界, 2018(21): 210-211.
- [6] 程巳阳, 周凌晞, 安兴琴. 瓦里关站大气 CO₂ 本底浓度及其源汇区域代表性[C]//中国气象学会. 第 34 届中国气象学会年会 S9 大气成分与天气、气候变化及环境影响论文集. 郑州: 中国气象学会, 2017: 1.
- [7] 谭鑫, 朱新胜, 谢旻, 等. 江西千烟洲区域大气二氧化碳浓度观测研究[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(6): 859-865.
- [8] 陈昆, 沈竞, 陈鲍发. 景德镇地区大气 CO₂ 浓度变化特征[J]. 气象与减灾研究, 2019, 42(2): 113-118.
- [9] 程雪玲, 刘晓曼, 刘郁珏, 等. 北京城区 CO₂ 浓度和通量时空分布特征[C]//中国气象学会. 第 34 届中国气象学会年会 S8 观测推动城市气象发展——第六届城市气象论坛论文集. 郑州: 中国气象学会, 2017: 7.
- [10] 卢鹏, 张华, 刘端阳, 等. 江苏地区二氧化碳浓度时空分布特征分析[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2015, 7(3): 254-259.
- [11] 汪巍, 刘冰, 李健军, 等. 青藏高原高寒草甸地区大气 CO₂ 浓度变化特征[J]. 环境科学研究, 2015, 28(4): 503-508.