

# 乡镇区域生态环境气象指标初探

杨元建<sup>1</sup> 孔俊松<sup>2</sup> 吴必文<sup>1\*</sup> 石春娥<sup>1</sup> 孙怡<sup>2</sup> 宋佑之<sup>2</sup>  
盛绍学<sup>3,4</sup> 王翔<sup>5</sup> 何彬方<sup>1</sup> 宋卫恒<sup>1</sup> 王德山<sup>5</sup>

(1 安徽省气象科学研究所,安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室合肥 230031; 2 安徽省滁州市气象局,滁州 239000;

3 安徽省气象信息中心,合肥 230031; 4 安徽省大气探测技术保障中心,合肥 230031;

5 安徽省来安县气象局,来安 239200)

**摘要** 基于安徽省来安县区域生态环境气象监测站网数据和卫星遥感数据,选取了能见度、霾频率、温湿适宜频率和植被覆盖度 4 个因子进行统计分析,从而构建了乡镇区域生态环境的气象评价指标(MEI)。对 2015 年 8 月至 12 月来安县各乡镇的 MEI 适用性和可靠性进行了试算验证,结果表明 MEI 能够科学合理地反映各乡镇区域间生态环境质量状况的差异和季节变化差异。本文提出的指标适用于乡镇级及以上的行政区域范围内的霾监测和评估,以及地方社会经济发展对生态环境的影响评估,旨在为乡镇级区域生态环境健康发展提供科学依据。

**关键词** 生态环境;气象评价;指标;乡镇区域

**中图分类号**: X171 **DOI**: 10.19517/j.1671-6345.20160369 **文献标识码**: A

## 引言

近几十年来,随着社会经济的高速发展和生态资源的过度开发利用,全球的生态环境遭受严重威胁。特别近年来我国城市经济结构、产业调整和区域招商引资的力度加大,大量的高耗能、重污染企业从大城市向周边小城镇转移,区域性生态环境不断恶化。因此,在发展经济的同时,生态环境保护与评估越来越受到各级政府和社会的高度重视。目前就生态环境评估体系而言,针对的范围较广,主要根据评价区域划分为各省域生态环境评估、城市生态环境评估、农村生态环境评估、县区生态环境评估、旅游景点生态环境评估。而专门针对小尺度的乡镇区域生态环境评估尚未开展。众所周知,生态环境评估是根据特定的目的,选择具有代表性、可操作性、可比性的评估方法和指标,对生态环境的质量优劣程度进行定性或定量的分析和判别至关重要,一般

而言生态环境要素构成主要包括:水资源和空气质量、森林和草地生态系统、湿地生态系统及土地荒漠化等因子<sup>[1-10]</sup>。然而气候因子和上述因子之间存在着直接或者间接关系,因此进行气象的生态环境评估具有必要性和可行性。

为贯彻落实《安徽省生态强省建设实施纲要》,结合实施《滁州市生态强市行动计划》,安徽省气象局以滁州市来安县为试点区域,重点从气象角度对乡镇区域内的生态环境质量进行评估,旨在通过较为低廉的地基观测站网监测并配合空间对地观测实现如下目标:一是提升乡镇区域霾监测和预报预警精准化水平;二是形成生态环境气象监测数据,并最终研究和构建乡镇区域生态环境质量的气象评价指标(Meteorological Eco-environmental Index,简称 MEI)体系,设计出科学、合理的环境气象指标,动态、客观、公正地评价地方社会经济发展对生态环境状况的影响。

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

安徽省自然科学基金“安徽省大范围持续性霾天气特征研究”(1608085MD84),安徽省气象科技发展基金项目“区域环境气象评价指标体系构建与示范应用”(KM201506)和安徽省气象局创新团队建设计划共同资助。

作者简介:杨元建,男,1985 年生,博士,副研究员,主要是从事环境气象监测与评估研究,Email:yyj1985@mail.ustc.edu.cn

收稿日期:2016 年 6 月 28 日;定稿日期:2016 年 10 月 13 日

通信作者:Email:wbwen@sina.com

1 数据和方法

1.1 研究区概况

来安县位于安徽省东部,处于江淮之间,介于北纬  $32^{\circ}10' \sim 32^{\circ}45'$ 、东经  $118^{\circ}20' \sim 118^{\circ}40'$ ,县域东邻天长市和江苏省南京市六合区,西接明光市、滁州市,南连江苏省南京市浦口区,北界江苏省盱眙县,南北最长 55 km,东西最宽 30 km。年平均气温  $15.3^{\circ}\text{C}$ ,年降水量 1002.3 mm,属北亚热带湿润季风气候。境内地势西北高,东南低。北部为丘陵。全县海拔高度小于 220 m,相对高程大于 100 m(图 1,彩页)。境内地貌类型分为丘陵、阶地和河漫滩 3 种,县域土地总面积为  $1481\text{ km}^2$ ,其中耕地  $4.75 \times 10^4\text{ hm}^2$ 。全县辖 12 个乡镇,总人口为 50 万,其中有两个为副县级乡镇(半塔镇和汭河镇),两个省级经济开发区。

1.2 环境气象观测站网

安徽省气象局于 2014 年底完成 10 个观测站的站址规划、设备招标、仪器安装调试等相关工作,观测站测量 6 要素为主:气温、雨量、风向、风速、相对湿度和能见度,入库数据最终为小时尺度。白鹭岛、林桥和县气象站等 3 个观测站额外布设了负氧离子仪器,入库数据最终为分钟尺度。具体站点位置分布见图 1。上述站点资料已纳入安徽省气象局业务运行的管理,观测资料始于 2015 年 2—7 月,为观测试运行阶段,主要为对数据完整性、连续性、一致性和准确性进行测试和调整。

1.3 指标体系构建原则

评价体系着重评价研究区域各子区域生态环境质量的相对好坏,各次评价结果具有纵横向可比性。因此,建立科学合理、可比性强、操作简单易行的生态环境质量评价体系和方法,对正确评价各区域生态环境质量及其变化状况具有重要意义。在建立考核指标时,遵循以下原则:①科学性,选择的评价因子力求能充分反映生态环境和空气质量的好坏,指标的选择具有科学的理论依据;②综合性,评价指标体系是 1 个有机的整体,应能全面反映被考核地区的生态环境和空气质量的好坏;③可操作性,选取的指标应当具有较强的可操作性,易于从常规观测数据中进行提取和统计分析;④相对稳定性与绝对动态性相结合,即可比性,选取的指标不因时间和空间改变而改变,且在时间和空间上具有一定的区分度。

2 结果与讨论

2.1 评价因子的选取

2.1.1 能见度

大气能见度的好坏与大气中气溶胶粒子多少直接相关,已有的研究表明,大气中颗粒物浓度与大气能见度之间存在非常显著的负相关关系,可以说能见度是大气颗粒物污染程度的重要标志,其变化能反映环境空气质量的优劣<sup>[11-13]</sup>。例如,利用 2014 年来安县气象局国家站观测的能见度和来安县环保局观测  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{PM}_{10}$  的数据分别进行了全年(图 2,彩页)和四季(图略)尺度上的线性统计回归。可以看出,能见度和  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$  有着稳定的统计关系,且季节差异并没有对统计关系带来扰动。对比发现,能见度和  $\text{PM}_{2.5}$  的负线性关系更加可靠,总体表现为  $\text{PM}_{2.5}$  越大,能见度越低。更为重要的是,相比大气污染物浓度监测仪器昂贵、维持成本高,不便普及到广大的乡镇和农村地区,而气象自动站相对低廉不少,易维护和推广。

2.1.2 霾

霾是大量极细微的尘粒等均匀地浮游在空中,使水平能见度(人工观测方式)小于 10.0 km 的空气普遍混浊现象(地面气象观测规范,2003 版、2007 版),对空气质量具有指示意义<sup>[12-15]</sup>。为便于定量计算,本体系采用气象行标对霾定义为:排除降水和雾的干扰,相对湿度小于 90%,能见度小于 10 km,记为霾。霾的分级方法见表 1<sup>[14]</sup>。

表 1 霾的分级

| 等级 | 能见度 V<br>km     | 服务描述                                                                                        |
|----|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 轻微 | $5 \leq V < 10$ | 轻微霾天气,无需特别防护                                                                                |
| 轻度 | $3 \leq V < 5$  | 轻度霾天气,适当减少户外活动                                                                              |
| 中度 | $2 \leq V < 3$  | 中度霾天气,减少户外活动,停止晨练;驾驶人员小心驾驶;因空气质量明显降低,人员需适当防护;呼吸道疾病患者尽量减少外出,外出时带上口罩                          |
| 重度 | $V < 2$         | 重度霾天气,尽量留在室内,避免户外活动;机场、高速公路、轮渡码头等单位加强交通管理,保障安全;驾驶人员谨慎驾驶;空气质量差,人员需适当防护;呼吸道疾病或者尽量避免外出,外出时带上口罩 |

必须说明的是,由于自动观测能见度( $V_a$ )和人

工观测能见度( $V_m$ )存在观测方式的差异,因此需要转换<sup>[14]</sup>,见公式(1)。

$$V_a \approx 0.766V_m \tag{1}$$

本文中的所有能见度都经过研究根据公式(1)进行了转换,即器测能见度转换到目测能见度。

2.1.3 气温和湿度

气温和湿度受到局地人类活动及陆面植被覆盖率的影响,其变化对人体感官舒适程度有显著影响<sup>[15-19]</sup>。

2.1.4 植被

植被覆盖变化也是反应经济发展等人类活动和生态环境好坏的重要指标之一<sup>[20-21]</sup>,主要是因为植被覆盖变化通过改变地表反照率、粗糙度和土壤湿度等地表属性,直接或间接影响辐射平衡、水分平衡等过程,最终导致区域温度、降水和空气相对湿度的变化。

2.2 区域生态环境质量气象综合评价指标的建立

通过对影响生态环境气象因子的选取,建立了4个最直接相关的指数(即能见度指数、大气环境指数、温湿适宜频率指数和植被指数),从而构建了1个综合的区域生态环境质量的气象综合评价指标MEI。各指数的物理意义及计算公式如下:

(1)能见度指数( $I_{NV}$ ):为某1个站在1个月内的非降水和雾条件下的能见度月均值( $V$ ), $V$ 越大,大气环境越好,归一化后,见式(2):

$$I_{NVi} = \frac{V_i - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \tag{2}$$

$I_{NVi}$ 为第*i*个站某个月内归一化的能见度,范围在0~1之间。 $V_{\max}$ 和 $V_{\min}$ 是某个月内的10个站中月均能见度的最大值和最小值。可见, $I_{NV}$ 越大,空气质量越好。

(2)大气环境指数( $I_{AE}$ ):主要物理意义为某1个站在1个月内霾小时出现频率和各级霾出现频率越低,其空气质量越好。为了后面在建立综合指标时,保证每个因子的单调性一致,即因子指标越大,区域生态环境越好,我们需要先对霾出现频率归一化处理,使之单调递增,见式(3)。

$$F_{nhi} = 1 - \frac{F_{hi} - F_{h\min}}{F_{h\max} - F_{h\min}} \tag{3}$$

$F_{nhi}$ 为第*i*个站某个月内归一化的霾小时数,范围在0~1之间。 $F_{h\max}$ 和 $F_{h\min}$ 是某个月内的10个站中霾小时数中的最大值和最小值。类似地,可以对各等

级霾出现的频率进行归一化。

然后针对某1个站*i*而言,大气环境指数定义为 $F_{Nh}$ (归一化的霾出现频率)、 $F_{N1}$ (归一化的轻微和轻度霾出现频率)、 $F_{N2}$ (归一化的中度霾出现频率)和 $F_{N3}$ (归一化的重度霾出现频率)的加权平均,考虑到不同等级霾的贡献程度,权重因子分别为0.4,0.3,0.2,和0.1,计算具体见式(4)。

$$I_{AE} = 0.4F_{Nh} + 0.3F_{N1} + 0.2F_{N2} + 0.1F_{N3} \tag{4}$$

可见, $I_{AE}$ 越大,霾污染越小,空气质量越好。

(3)温湿适宜频率指数( $I_{FEt}$ ):给出温湿指数( $E_t$ )的定义为人体对温湿环境反应的舒适程度,也是观测站所在区域周边温湿环境的重要体现,已有文献<sup>[17-18]</sup>的计算如式(5)。

$$E_t = T_d - 0.55(1 - R)(58 - T_d) \tag{5}$$

$T_d$ 为14:00的干球温度( $^{\circ}C$ ), $R$ 为14:00的相对湿度。根据已有研究 $E_t$ 在18.9和25.6之间的环境,人体会感到舒适<sup>[18]</sup>。因此,为了便于构建综合指数,主要统计出1个月内 $E_t$ 在18.9和25.6之间出现的次数占有效观测次数的百分比,即频率 $I_{FEt}$ ,定义为温湿适宜频率指数。

(4)植被指数(NDVI):本文选用的由美国NASA提供的TERRA/MODIS观测的近红外和红光两个波段探测数据之差除以它们的和得到的一种植被指数,即归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI),空间分辨率均为1000 m,NDVI能反映植物生长状况的指数,同时也是地表覆盖、土地利用变化的重要表征,因此植被指数广泛用于生态环境评估工作中。它的值的范围为 $[-1,1]$ ,负值表示地面覆盖为云、水、雪等,零值表示有岩石或裸土等,正值表示有植被覆盖,且随覆盖度增大而增大。由图3(彩页)中8、10和12月的MODIS反演得到的来安NDVI分布,可以看出NDVI( $I_{NDVI}$ )能很好反映全县的植被覆盖度的时间和空间变化特征。

(5)MEI( $I_{MEI}$ )的确立。根据上面4个环境气象指标,通过专家打分法和相关文献确定其权重因子系数, $I_{MEI}$ 确立如下:

$$I_{MEI} = 0.2I_{NV} + 0.5I_{AE} + 0.1I_{FE} + 0.2I_{NDVI} \tag{6}$$

可见,该综合指标可动态和客观地反映和评价当地生态环境的变化情况。因此,只要对多个乡镇的MEI进行计算排序,就能给出区域间的差异,且随着时间的推移,还可以给出MEI的时间演变

特征。

2.3 MEI 验证

根据公式(6)的计算结果,图 4(彩页)给出了各站所在乡镇区域的 2015 年 8—12 月及 5 个月平均的 MEI 变化(每个镇选取 1 个代表站,由于白鹭岛是生态公园也加入作为对比参考)。由图可见,MEI 综合评价指标按照由大到小的排序结果依次为:雷官池杉湖>水口油坊>舜山白鹭岛>汊河黄牌>舜山林桥>独山白路>半塔陵园>县气象局。总的来看,构建的 MEI 在时间和空间上的排序结果和我们前期实地调查的站点所在的环境、人口、经济等指标情况有着较好的吻合。时间上,各站的 MEI 都表现为 8—12 月不断减小,这也符合到冬季污染加重、植被减少的一般规律。空间上,比如县气象局所处的县城新安镇是当地最大的城镇,城镇化水平最高,工业、人口和建筑区面积等城市化指标均最高,因此其 MEI 最小;又如雷官池杉湖所在的雷官镇森林覆盖度大、湿地多、工业少,主要以农业为主,因此其 MEI 最大;类似的,其它测站所处乡镇生态环境均和我们实际调查较为一致。

2.4 讨论

当前,我国高度重视科学、绿色和生态发展,如何科学指导并评估发展带来的环境影响是各级政府的迫切需求;如何以环境考核为抓手推进生态文明建设和提高绿色 GDP 成为关键。特别是乡镇区域更是局限于监测和评价手段,而本文基于来安县乡镇区域生态环境气象评价指标体系与示范应用成果,建立了普及到广大乡镇和农村地区的环境气象监测网并同步结合卫星观测结果。构建的 MEI 或许可以对绿色 GDP 评价作出相应评估。例如,由前面的分析可以看出 MEI 在空间上和时间上对区域生态环境气象的评价区分度较为明显,且符合实际的时空分布。因此,如果要针对某一乡镇进行评价和考核,只要对考核当年评价指标 MEIC 和上年同期评价指标的 MEIL 进行比较,给出 MEI 同比变化幅度,单位为%,相应计算如公式(7):

$$\Delta I_{MEI} = (I_{MEIC} - I_{MEIL}) / I_{MEIL} \times 100\% \quad (7)$$

然后结合评分等级(表 2)就可以分析给出全县及各乡镇 MEI 当年相应的考核得分情况。值得说明的是,试点期间选择相邻年份进行同比分析,主要

是考虑稳定的排放源差异不大,且对 1 个县级区域来说同一年气候环流背景差异也不大,因此 MEI 变化评价较为合理,随着资料积累我们将对历年同期的 MEI 进行统计得出均值,用历史常年均值来补充和完善 MEI 的同比变化评估,提高其客观性、准确性和合理性。

表 2 MEI 同比变化幅度评分细则

| $\Delta I_{MEI}(\%)$            | 评分等级 |
|---------------------------------|------|
| $\Delta I_{MEI} \leq -30$       | 0    |
| $-30 < \Delta I_{MEI} \leq -20$ | 1    |
| $-20 < \Delta I_{MEI} \leq -15$ | 2    |
| $-15 < \Delta I_{MEI} \leq -10$ | 3    |
| $-10 < \Delta I_{MEI} \leq -5$  | 4    |
| $-5 < \Delta I_{MEI} < 5$       | 5    |
| $5 \leq \Delta I_{MEI} < 10$    | 6    |
| $10 \leq \Delta I_{MEI} < 15$   | 7    |
| $15 \leq \Delta I_{MEI} < 20$   | 8    |
| $20 \leq \Delta I_{MEI} < 30$   | 9    |
| $30 \leq \Delta I_{MEI}$        | 10   |

3 结论

本文基于安徽省来安县建立的区域生态环境气象监测站网数据和卫星遥感数据,选取了能见度、霾频率、温湿适宜频率,植被覆盖度 4 个因子进行归一化统计分析,并在月尺度上构建了乡镇区域生态环境气象评价指标(MEI)。在此基础上,对来安县 2015 年 8—12 月期间的来安县各乡镇的 MEI 的适用性和可靠性进行了试算验证,评价结果表明 MEI 能够科学合理地反映各乡镇区域间生态环境质量状况的差异和季节变化差异;各站的 MEI 都表现为 8—12 月不断减小,这也符合到冬季污染加重、植被减少的一般规律。时间和空间的排序结果和前期实地调查的站点所在的环境、人口、经济等指标情况有着较好的吻合。可见,本文提出的指标适用于乡镇级及以上的行政区域范围内的霾监测和评估,以及地方社会经济发展对生态环境的影响评估,旨在为乡镇及以上区域生态环境健康发展提供科学依据。



与卫星遥感应用技术学术交流会议论文摘要集, 2006.

[7] 杨淑香. 呼伦贝尔地区气象环境监测评估及生态保护建议[J]. 内蒙古农业科技, 2015, 43(4):47-49.

[8] 曹广敏. 哈尔滨市气象灾害与生态环境监测评估系统[D]. 沈阳:东北大学, 2008.

[9] 谷晓平, 于飞, 刘云慧, 等. 石漠化地区生态环境评估综合指标研究[C]// 中国气象学会 2007 年年会生态气象业务建设与农业气象灾害预警分会场论文集, 2007.

[10] 严明良, 沈树勤. 环境气象指数的设计方法探讨[J]. 气象科技, 2005, 33(6):583-588.

[11] 张浩, 石春娥, 谢伟, 等. 2008. 安徽省 1955—2005 年城市大气能见度变化趋势[J]. 气象科学, 28(5):515-520.

[12] 石春娥, 邓学良, 杨元建, 等. 2013 年 1 月安徽持续性霾天气成因分析 [J]. 气候与环境研究, 2014, 19(2):227-236.

[13] 张浩, 石春娥, 邱明燕, 等. 合肥市霾天气变化特征及其影响因素[J]. 环境科学学报, 2010, 30(4):714-721.

[14] 中国气象局. 霾的观测与预报等级[M]. 北京:气象出版社, 2010.

[15] 吴兑, 吴晓京, 李菲, 等. 1951—2005 年中国大陆霾的时空变化[J]. 气象学报, 2010, 68(5):680-688.

[16] 吴兑, 邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报[M]. 北京:气象出版社, 2001.

[17] 吴兑. 多种人体舒适度预报公式讨论[J]. 气象科技, 2003, 31(6):370-372.

[18] 张清. 从人体舒适度看高温及其影响[J]. 干旱气象, 1997 (4):10-11.

[19] 石春娥, 王兴荣, 陈晓平, 等. 人体舒适度预报方法研究[J]. 气象科学, 2001, 21(3):363-368.

[20] 张宏群, 杨元建, 苟尚培, 等. 安徽省植被和地表温度季节变化及空间分布特征[J]. 应用气象学报, 2011, 22(2):232-240.

[21] 石涛, 杨元建, 马菊, 等. 基于 MODIS 的安徽省代表城市热岛效应时空特征研究[J]. 应用气象学报, 2013, 24(4):484-494.

# Eco-Environmental Meteorological Index for Rural Regions

Yang Yuanjian<sup>1</sup> Kong Junsong<sup>2</sup> Wu Biwen<sup>1</sup> Shi Chune<sup>1</sup> Sun Yi<sup>2</sup> Song Youzhi<sup>2</sup>  
Sheng Shaoxue<sup>3,4</sup> Wang Xiang<sup>5</sup> He Binfang<sup>1</sup> Song Weiheng<sup>1</sup> Wang Deshan<sup>5</sup>  
(1 Key Laboratory of Atmospheric Sciences and Satellite Remote Sensing of Anhui Province, Anhui Institute of Meteorological Sciences, Hefei 230031; 2 Chuzhou Meteorological Service, Anhui, Chuzhou 239000; 3 Anhui Meteorological Information Centre, Hefei 230031; 4 Anhui Meteorological Observation Centre, Hefei 230031; 5 Lai'an Meteorological Service, Anhui, Lai'an 239200)

**Abstract:** Based on the regional meteorological eco-environmental observations and satellite remote sensing data, the visibility, haze frequency, temperature-humidity adaptive frequency, and vegetation cover are selected as four key factors and analyzed to build the regional Meteorological Eco-environmental Index (MEI) for rural regions. The applicability and reliability of MEI are tested and validated from August to December 2015. MEI can reasonably reflect differences in spatial and seasonal variations of regional eco-environmental quality, which are according with the fact, which is applicable in the haze monitoring and assessment in rural regions, as well as the impact assessment of local socio-economic development on eco-environment. The findings provide a scientific reference for the health development of regional eco-environment in rural regions.

**Keywords:** eco-environment; meteorological assessment; index; rural region