

河南省“十四五”环境空气质量生态补偿机制探讨

乔宇静¹, 张 鹏², 王化儒², 宋刚福²

(1. 郑州大学体育学院体育旅游与外语系, 郑州 450040;
2. 华北水利水电大学环境与市政工程学院, 郑州 450046)

摘 要: 河南省大气环境形势依然严峻。为了调动各方积极性, 更合理地实施生态保护补偿, 文章通过评估河南省环境空气质量生态补偿机制实施情况, 对“十三五”“十四五”期间环境空气质量生态补偿情况进行对比分析, 以2020年为基准, 计算了增加补偿因子、设置补偿标准和阶梯临界点后的河南省各辖市(示范区)生态补偿情况。结果表明, 增加O₃和NO₂月均浓度和月均浓度同比改善率, 与仅考虑PM_{2.5}、PM₁₀月均浓度和月均浓度同比改善率相比, 支偿增加了39 246万元, 得补增加了34 505万元, 优化设置阶梯临界点为5%后, 支偿相应减少了6 547万元, 得补相应减少了7 876万元, 其结果更加合理。河南省环境空气质量生态补偿机制仍存在一些不适应新形势新要求的问题, 需要结合新形势新要求不断提出调整完善现行生态补偿机制的具体举措。

关键词: “十四五”; 空气质量; 生态补偿; 补偿机制

中图分类号: X321

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022030063

Discussion on ecological compensation mechanism of environmental air quality in Henan Province in "14th Five-Year Plan"

QIAO Yujing¹, ZHANG Peng², WANG Huaru², SONG Gangfu²

(1. Department of Sports Tourism and Foreign Languages, The Physical Educational College of Zhengzhou University, Zhengzhou 450040, China; 2. College of Environment and Municipal Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: The atmospheric environment situation in Henan Province is still severe. In order to enhance the enthusiasm of all parties and implement the ecological protection compensation more rationally, the ecological compensation mechanism for the environmental air quality in Henan Province has been evaluated. A comparative analysis of the quality of ecological compensation between the "13th Five-Year Plan" and "14th Five-Year Plan" was carried out. Based on the situation in 2020, the ecological compensations in various demonstration areas in Henan Province were calculated by increasing compensation factors, setting compensation standards and stepping thresholds. The results showed that increasing the monthly average concentration and year-on-year improvement rate, the compensation had increased by 392.46 million yuan, compared with the improvement rate with only considering the monthly average concentration of PM_{2.5} and PM₁₀. After an increase of 345.05 million yuan and the optimized setting of the critical point of the ladder to 5%, the compensation was reduced correspondingly of 65.47 million yuan. And the compensation was reduced by 78.76 million yuan with a more reasonable result. The environmental air quality ecological compensation mechanism in Henan Province still has some problems that are not suitable for the new situation and new requirements. It is necessary to continuously propose specific measures to adjust and improve the current ecological compensation mechanism in accordance with the new situation and new requirements.

Keywords: "14th Five-Year Plan"; air quality; ecological compensation; compensation mechanism

CLC number: X321

收稿日期: 2022-03-25 录用日期: 2022-05-05

基金项目: 河南省哲学社会科学规划项目(2018BTY021)

作者简介: 乔宇静(1981-), 女, 硕士、讲师。研究方向: 环境规划与管理。E-mail: qiaoyj2020@163.com

引用格式: 乔宇静, 张 鹏, 王化儒, 等. 河南省“十四五”环境空气质量生态补偿机制探讨[J]. 环境保护科学, 2023, 49(2): 65-71.

近年来,政学研各界不断加强对相关理论实践的研究,国家和河南省已相继出台了有关政策法规^[1-2],推动生态补偿工作取得长足进展^[3]。“生态补偿”作为一种使外部成本、效益内部化的环境经济手段,已经在越来越多的国家得到应用^[4-7]。尽管学界对此做了不少研究,但还没有统一的定义^[8]。综合已有的生态补偿研究与实践^[9]认为,生态补偿是以保护生态环境、促进人与自然和谐发展为目的,根据生态系统服务价值、生态保护成本和发展机会成本,运用政府和市场手段,调节生态保护利益相关者之间利益关系的公共制度^[10]。已有的“生态补偿”概念综合了经济学、生态学等多学科理论,形成相对完善的生态补偿概念框架^[11-12]。一般完整的生态补偿概念包括补偿目的、主体、对象、范围、手段和方式等^[13]。山东省是全国第一个实施大气生态补偿办法的省份^[14],其生态补偿办法以各设区市 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂ 和 NO₂ 季度平均浓度变化情况为考核指标,生态补偿金扣缴额度为考核得分乘以生态补偿金扣缴标准。湖北省是全国第二个实施大气生态补偿办法的省份^[15],其生态补偿办法以 PM₁₀、PM_{2.5} 为考核指标,生态补偿金扣缴额度为各因子扣缴生态补偿金之和。其他各省份也都对大气生态补偿进行了探索^[16-17],为大气生态补偿机制提供了有益经验,通过分析,各省份有以下不同点:(1)补偿频率不同,河南按月进行补偿,山东、安徽按季度进行补偿,湖北、四川按年度进行补偿。(2)补偿因子不同,在皆有 PM_{2.5}、PM₁₀ 平均浓度指标之外,河南增加了 PM_{2.5}、PM₁₀ 月均浓度改善率指标,山东增加了 SO₂、NO₂ 平均浓度及空气质量优良天数比例指标,四川涵盖了环境空气质量标准涉及的全部 6 项因子。(3)考核基数不同,山东、湖北和安徽皆以各市污染因子平均浓度为考核基数,河南以全省污染因子月均浓度平均值和月均浓度同比改善率平均值为考核基数,四川则完全以各地年度考核目标为考核基数。(4)补偿标准不同,四川设立省级环境空气质量激励资金,采用等额预分、次年清算、据实考核、分档扣收和等额扣罚的办法进行奖励或惩罚,山东、湖北和安徽皆设置了完整的基数生态补偿金的公式,补偿基础标准各不相同。本文对河南省“十三五”期间大气生态补偿方法进行分析,提出了“十四五”期间生态补偿方法,在现行考核 PM_{2.5}、PM₁₀ 月均浓度和月均浓

度同比改善率的基础上,增加考核 O₃ 和 NO₂ 的月均浓度和月均浓度同比改善率,并考虑梯度临界点设置和考核标准情况,进一步核算分析生态补偿支、得补金额及其合理性,为河南省“十四五”期间大气环境质量改善提供支持。

1 河南省环境空气质量生态补偿方法分析

1.1 补偿因子和频次分析

《河南省城市环境空气质量生态补偿暂行办法》(豫政办〔2016〕119号)最早确定 PM₁₀、PM_{2.5} 两项污染因子,实行按季度进行生态补偿;《河南省城市环境空气质量生态补偿办法(试行)》(豫环攻坚办〔2020〕15号),将 PM₁₀、PM_{2.5} 的浓度值和同比改善率作为考核因子,并继续实行按月生态补偿。结合生态补偿绩效的内涵、机理和现行生态补偿办法等进行综合的比较分析,本文确定补偿因子有 PM_{2.5}、PM₁₀ 月均浓度和 PM_{2.5}、PM₁₀ 月均浓度同比改善率,考虑到补偿机制的前瞻性、操作性和延续性,增加 O₃、NO₂ 月均浓度。生态补偿机制涉及郑州、开封和洛阳等河南省 18 个省辖市(示范区)。主要数据来源于河南省空气质量实况与预报 APP,监测频次为每个月 1 次。

1.2 不同补偿方法分析

省辖市(示范区)各补偿因子的浓度差值的计算,见式(1):

$$C'_{ij} = C_{0j} - C_{ij} \quad (1)$$

式中: i 为省辖市(示范区),即郑州、开封和洛阳等 18 个省辖市(示范区); j 为补偿因子,包括 PM_{2.5}、PM₁₀、O₃ 和 NO₂ 浓度; C'_{ij} 为 i 市(示范区) j 补偿因子与 j 补偿因子考核基数的差值, C'_{ij} 为正需要得补生态补偿金,反之,为负需要扣缴生态补偿金; C_{0j} 为 j 补偿因子的考核基数,取全省各省辖市(示范区) j 补偿因子当月监测浓度的平均值, C_{ij} 为 i 市(示范区) j 补偿因子的每月监测浓度值。

省辖市(示范区)各补偿因子的浓度改善百分比计算,见式(2):

$$P'_{ij} = P_{ij} - P_{0i} \quad (2)$$

式中: P_{ij} 为省辖市(示范区)补偿因子同比改善率; P_{0i} 为补偿因子的平均同比变化率作为考核基数。

省辖市(示范区)各补偿因子的浓度和同比改善率得补和支偿机制计算,见式(3~6):

$$J_1 = \begin{cases} \delta_1 \times C'_{ij} & 0 < C'_{ij} < \xi_1 \\ \delta_2 \times (C'_{ij} - \xi_1) + \delta_1 \times \xi_1 & C'_{ij} > \xi_1 \\ 0 & C'_{ij} < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$J_2 = \begin{cases} P'_{ij} \times \delta_3 & 0 < P'_{ij} < \xi_2 \\ \delta_4 \times (P'_{ij} - \xi_2) + \delta_3 \times \xi_2 & P'_{ij} > \xi_2 \\ 0 & P'_{ij} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$K_1 = \begin{cases} -\delta_5 \times C'_{ij} & 0 > C'_{ij} > -\xi_1 \\ \delta_6 \times (-C'_{ij} - \xi_1) + \delta_5 \times \xi_1 & C'_{ij} < -\xi_1 \\ 0 & C'_{ij} > 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$K_2 = \begin{cases} -\delta_7 \times P'_{ij} & -\xi_2 < P'_{ij} < 0 \\ \delta_8 \times (-P'_{ij} - \xi_2) + \delta_7 \times \xi_2 & P'_{ij} < -\xi_2 \\ 0 & P'_{ij} > 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中： J_1 为各因子月均浓度变化得补生态补偿金或奖励机制； J_2 为月均浓度同比改善率变化得补生态补偿金或奖励机制； K_1 为各因子月均浓度变化支偿生态补偿金或罚款机制； K_2 为月均浓度同比改善率变化支偿生态补偿金或罚款机制； ξ_1 为月均浓度考核因子的阶梯设置临界点，mg/L； ξ_2 为月均浓度同比变化率考核因子的阶梯设置临界点，%； $\delta_1 \sim \delta_8$ 分别代表各方案不同阶梯的补偿、罚款标准额度，万元。各方案试算参数设置，见表1。

表1 各方案试算参数设置情况

Table 1 Trial parameter settings of each scheme

方案	方案设置情况
方案1	PM _{2.5} 月均浓度变化奖励按照式(3)：当 $\xi_1=5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\delta_1=10$ 万元， $\delta_2=20$ 万元；PM _{2.5} 月均浓度同比改善率奖励按照式(4)： $\xi_2=3\%$ ， $\delta_3=15$ 万元， $\delta_4=30$ 万元；PM ₁₀ 月均浓度变化奖励按照式(3)： $\xi_1=5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\delta_1=5$ 万元， $\delta_2=10$ 万元；PM ₁₀ 月均浓度同比改善率奖励按照式(4)： $\xi_2=3\%$ ， $\delta_3=10$ 万元， $\delta_4=20$ 万元；PM _{2.5} 月均浓度变化罚款按照式(5)：当 $\xi_1=5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\delta_5=10$ 万元， $\delta_6=20$ 万元；PM _{2.5} 月均浓度同比改善率罚款按照式(6)： $\xi_2=3\%$ ， $\delta_7=15$ 万元， $\delta_8=30$ 万元；PM ₁₀ 月均浓度变化罚款按照式(5)： $\xi_1=5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $\delta_5=5$ 万元， $\delta_6=10$ 万元；PM ₁₀ 月均浓度同比改善率罚款按照式(6)： $\xi_2=3\%$ ， $\delta_7=10$ 万元， $\delta_8=20$ 万元
方案2	PM _{2.5} 、PM ₁₀ 月均浓度变化、月均浓度同比改善率奖励和惩罚同方案1；增加O ₃ 因子，奖励和惩罚同PM _{2.5}
方案3	PM _{2.5} 、PM ₁₀ 、O ₃ 月均浓度变化、月均浓度同比改善率奖励和惩罚同方案1；增加NO ₂ 因子，奖励和惩罚同PM _{2.5}
方案4	PM _{2.5} 、PM ₁₀ 月均浓度变化、PM _{2.5} 月均浓度同比改善率奖励和惩罚同方案1；PM ₁₀ 月均浓度同比改善率奖励按照式(4)： $\xi_2=3\%$ ， $\delta_3=10$ 万元， $\delta_4=20$ 万元；PM ₁₀ 月均浓度同比改善率罚款按照式(6)： $\xi_2=5\%$ ， $\delta_7=10$ 万元， $\delta_8=20$ 万元
方案5	PM _{2.5} 、PM ₁₀ 、O ₃ 月均浓度变化、PM _{2.5} 月均浓度同比改善率奖励和惩罚同方案2；PM ₁₀ 月均浓度同比改善率罚款同方案4；O ₃ 月均浓度同比改善率奖励按照式(4)： $\xi_2=3\%$ ， $\delta_3=15$ 万元， $\delta_4=30$ 万元；O ₃ 月均浓度同比改善率罚款按照式(6)： $\xi_2=3\%$ ， $\delta_7=15$ 万元， $\delta_8=30$ 万元；
方案6	PM _{2.5} 、PM ₁₀ 、O ₃ 月均浓度变化和月均浓度同比改善率奖励和惩罚同方案5；增加NO ₂ 因子，奖励和惩罚同O ₃

2 环境空气质量生态补偿分析

2.1 “十三五”时期生态补偿分析

“十三五”时期河南省生态补偿金额，见图1。2017—2020年总支偿97 178.3万元，得补92 252.6万元，其中，2020年，全省各省辖市(示范区)共支偿47 751万元，得补48 059万元，与2017—2019年总支偿和总得补相比，2020年总支偿和总得补较多，且总支偿减总得补首次为正值。2017年，全省PM₁₀平均浓度为106 μg/m³，同比降低23 μg/m³，下降17.8%，比2015年下降21.5%，完成国家“大气十条”规定的下降15%的目标任务；全省PM_{2.5}平均浓度为62 μg/m³，同比降低11 μg/m³，下降15.1%，

完成2017年环保约束性指标66 μg/m³的目标任务。2018年，全省PM₁₀年均浓度为103 μg/m³，同比下降2.8%；PM_{2.5}年均浓度为61 μg/m³，同比下降1.6%；SO₂年均浓度为16 μg/m³，下降23.8%；NO₂年均浓度为16 μg/m³，同比下降2.5%；CO年均浓度为2.1 mg/m³，同比下降16.0%。2019年PM_{2.5}年均浓度为59 μg/m³、PM₁₀年均浓度为96 μg/m³，圆满完成国家和省定目标。PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂和CO各项污染指标达到近5年最好水平；PM_{2.5}浓度5~9月连续5个月达到国家空气质量二级标准；洛阳栾川县、信阳新县2县首次实现县级年度空气质量二级达标，实现了我省县市达标零的突

破;秋冬季重污染天气应对效果显著,重污染天数明显减少,优良天数明显增加,全省空气质量取得近年来最好成绩。特别是2020年,全省 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 O_3 和CO年均浓度同比分别下降11.9%、13.5%、9.1%、11.8%、10.8%和16.7%,空气质量综合指数5.02,同比下降11.9%,优良天数同比增加52 d,全省 $PM_{2.5}$ 、 O_3 、CO和优良天数4项指标改善幅度在京津冀及周边省份中均为最大,洛阳市栾川县、汝阳县、洛宁县、嵩县,信阳市新县、商城县、淮滨县,三门峡市卢氏县,驻马店市泌阳县9个县(市)环境空气质量达到二级标准,比2019年增加7个县。表明“十三五”期间河南省各省辖市(示范区)的奖励和惩罚金额逐步提高,2020年河南省大气环境质量明显改善,大气生态补偿效果逐步显现。通过推行生态补偿机制,进一步强化了经济激励和约束手段,用经济手段倒逼绿色发展,提高了市县党委政府打好污染防治攻坚的积极性,促进全省空气质量明显提升。

“十三五”期间生态补偿机制仍然存在一些问题需要关注并加以解决。(1)补偿办法的依据是《河南省污染防治三年行动计划(2018—2020年)》,目前已经到期。(2)补偿因子为 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} ,没有考虑 O_3 。研究表明, $PM_{2.5}$ 和 O_3 关联日趋密切,协同效应显著,高的大气氧化性在不利气象条件下促进颗粒物的二次生成^[18]。从河南省大气形势看, O_3 已经成为制约大气环境质量改善的短板,影响的污染天数约占全部污染天数的1/3。从国家要求来看,生态环境部2020年6月召开的新闻发布会上,

生态环境监测司司长柏仇勇此前表示, O_3 已逐渐成为影响空气质量的首要污染物。数据显示,2019年全国337个城市 O_3 浓度同比上升6.5%。国务院《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》提出要着力打好 O_3 污染防治攻坚战,大力推进挥发性有机物和氮氧化物协同减排,党的十九届五中全会要求推进 $PM_{2.5}$ 和 O_3 协同控制。(3)由于受行政区划影响,各方利益诉求不同,在现有的补偿计算指标、补偿标准条件下,豫北污染较重城市支偿较多。安阳、鹤壁、焦作、新乡和濮阳等地支偿较多,得补较少;而空气质量本底相对较好城市如信阳、驻马店、周口、洛阳和三门峡等地支偿较少,得补较多,见图2。故应着手考虑调整奖惩基数、月均浓度补偿标准,提高公平性。(4)十九届五中全会明确了“十四五”及以后相当长一段时间大气环境质量改善目标,推进空气质量达标既要加强颗粒物治理,又要同步考虑 O_3 、 NO_x 等其他污染因子的治理,促进优良天数增加,重污染天气减少。

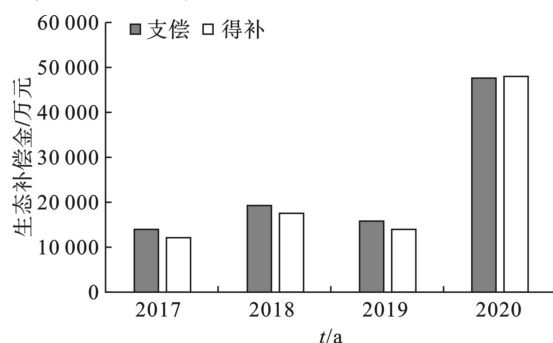


图1 2017~2020年河南省生态补偿金额分布
Fig. 1 Distribution of ecological compensation amount in Henan Province from 2017 to 2020

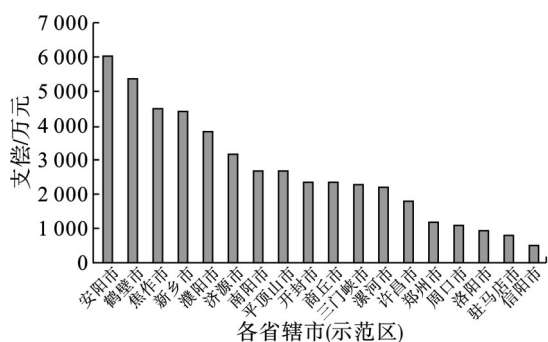


图2 2020年河南省各地市生态补偿金额分布

Fig. 2 Distribution of ecological compensation amount in Henan Province in 2020

2.2 “十四五”时期生态补偿探讨

现行生态补偿办法应继续坚持的内容。(1)继续实施按月补偿。河南省2020年 $PM_{2.5}$ 年均浓度 $52 \mu g/m^3$,优良天数245 d,在全国仍处于靠后位置,

还必须持续加大治理力度。(2)继续坚持阶梯标准。实施阶梯标准能够更大幅度地激励先进,鞭策落后,符合实施生态补偿的根本要求。(3)坚持原有补偿原则。仍然坚持谁保护、谁受益、谁污染、

谁付费、谁损害、谁赔偿的原则。(4)保留原有污染因子。仍然保留 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 月均浓度和 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 月均浓度同比改善率 4 项因子。(5)坚持原有补偿资金使用方向。补偿资金应用于大气污染治理等环境治理工作。

构建“十四五”环境空气质量应该考虑以下原则。(1)激励性。能够通过生态补偿更大幅度地调动市县治理大气污染的积极性、主动性,进而调度各类大气污染主体加大大气治理力度,加快改善环境空气质量。(2)公平性。由于受气象等多种客观条件影响,河南省豫北地区皆为京津冀及周边地区大气传输通道城市,环境空气质量本底较差。应充分考虑各地环境空气质量的本地差异性,更多地体现各地治理大气污染的力度和改善情况。(3)延续性。河南省已先后实施 3 版环境空气质量生态补偿办法,在制定“十四五”生态补偿办法时,应与现行生态补偿办法充分衔接。(4)目标性。十九届五中全会已经明确大气污染治理的基本思路,制定“十四五”环境空气质量生态补偿办法要与国家大气治理思路和年度考核目标相衔接。(5)操作性。制定的生态补偿办法是要实施的,应充分考虑生态补偿办法的实施层面,明确生态补偿金来源、支偿、得补和使用等。

构建“十四五”环境空气质量生态补偿机制应着力完善的内容。对于补偿因子,按照“十四五” $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 协同控制要求,增加 O_3 月均浓度和 O_3 月均浓度同比改善率考核因子。同时,考虑到 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度已经降至 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右,再继续下降要从影响 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度较大的因素氮氧化物入手,同时应适时增加 NO_2 月均浓度和 NO_2 月均浓度同比改善率考核因子。对于补偿标准,现行标准中, $\text{PM}_{2.5}$ 为 10 万元/ μg , $\text{PM}_{2.5}$ 浓度同比改善率为 15 万元/百分点, PM_{10} 为 5 万元/ μg , PM_{10} 浓度同比改善率为 10 万元/百分点。 $\text{PM}_{2.5}$ 仍然是影响环境空气质量改善的最大制约因素,因此在补偿标准中 $\text{PM}_{2.5}$ 补偿标准略高于其他因子比较适合,同时考虑到补偿机制的操作性 and 延续性,故拟增加的 O_3 、 NO_2 应和 PM_{10} 补偿标准一致。对于阶梯设置,现行标准中, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 月均浓度的阶梯分界点是 $5 \mu\text{g}$, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 月均浓度同比改善率的阶梯分界点是 3 个百分点。考虑到 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO_2 全省年均浓度分别为 52

和 $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{10} 、 O_3 全省年均浓度分别为 83 和 $166 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 则 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO_2 阶梯分解点按 3 个百分点计算的话,则只有月均浓度在 $2 \mu\text{g}$ 以内才能达到第一阶梯,因此 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 O_3 月均浓度改善率阶梯分界点应考虑 5 个百分点的可能性。对于年度情况,考虑年度目标完成情况和二级达标情况,对完成年度目标的一次性奖励一定额度,对二级达标的市县一次性奖励较大额度。

对 2020 年补偿标准的阶梯设置情况进行分析。(1)对于月均浓度考核因子的阶梯设置, $\text{PM}_{2.5}$ 月均浓度与考核基数差值为 $5 \mu\text{g}$ 及以内的补偿频次共 150 次,占全年补偿次数比例 69%,其中最高为 8、9 月份的 17 次,最低为 12 月份的 3 次。 PM_{10} 月均浓度与考核基数差值为 $5 \mu\text{g}$ 及以内的补偿频次共 94 次,占全年补偿次数比例 44%,其中最高为 3 月份的 12 次,最低为 12 月份的 3 次。 O_3 月均浓度与考核基数差值为 $5 \mu\text{g}$ 及以内的补偿频次共 94 次,占全年补偿次数比例 44%,其中最高为 1 月份的 15 次,最低为 7、8 月份的 3 次。通过以上分析看出,阶梯设置为 $5 \mu\text{g}$,一级阶梯内的补偿频次为 44%~69%,比较合理。(2)对于月均浓度同比变化率考核因子的阶梯设置, $\text{PM}_{2.5}$ 月均浓度同比变化率与考核基数差值在 3 个百分点及以内的补偿频次共 60 次,占全年补偿次数比例 28%, PM_{10} 月均浓度同比变化率与考核基数差值在 3 个百分点以内的补偿频次共 72 次,占全年补偿次数比例 33%, O_3 月均浓度同比变化率与考核基数差值在 3 个百分点以内的补偿频次共 66 次,占全年补偿次数比例 31%。通过以上分析可以看出,阶梯设置为 3 个百分点,一级阶梯内的补偿频次为 30% 左右,可以考虑 5 个百分点的阶梯设置。按照 5 个百分点的阶梯设置,经试算, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 O_3 月均浓度同比变化率 3 项考核因子在一级阶梯内的年度补偿频次分别为 97、107 和 98 次,分别占年度补偿次数的 45%、50% 和 45%,具有合理性,在制定生态补偿机制时应予以考虑。

按照完善的有关内容,共得出 6 个生态补偿方案,对 2020 年各方案中各补偿因子生态补偿金进行计算分析,得出全省各方案中各补偿因子得补及全省总得补金额,结果见表 2,各方案全省各月大气生态补偿变化情况,见图 3。

表 2 2020 年全省各方案中各补偿因子得补及全省总得补金额分析

Table 2 Analysis of compensation factors and total compensation amount of the province in 2020									万元
方案	考核因子								全省总得补
	PM ₁₀	PM ₁₀ 同比变化率	PM _{2.5}	PM _{2.5} 同比变化率	O ₃	O ₃ 同比变化率	NO ₂	NO ₂ 同比变化率	
方案1	260	1 002	-365	-589	0	0	0	0	308
方案2	260	1 002	-365	-589	-1 210	-2 164	0	0	-3 066
方案3	260	1 002	-365	-589	-1 210	-2 164	165	-1 532	-4 433
方案4	260	596	-365	-1 597	0	0	0	0	-1 106
方案5	260	596	-365	-1 597	-1 210	-2 178	0	0	-4 494
方案6	260	596	-365	-1 597	-1 210	-2 178	165	-1 433	-5 762

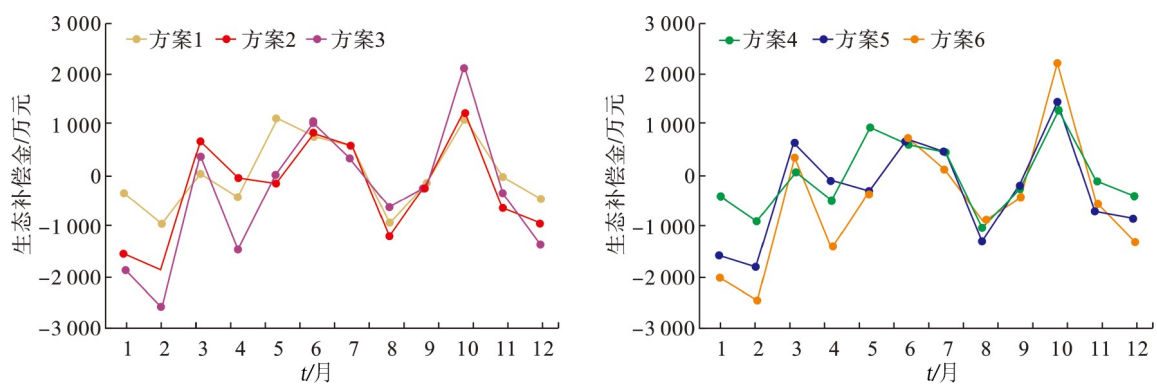


图 3 方案 1~6 2020 年河南省全省各月大气生态补偿变化

Fig. 3 Monthly changes of atmospheric ecological compensation in Henan Province in 2020 for scheme 1-6

方案 1、2、3 之间和方案 4、5、6 之间的差别主要是补偿因子的增加,当补偿因子增加时,地方总得补和总支偿均有不同幅度的增加,全省总得补有较大幅度下降。方案 1、4;2、5;3、6 之间的差别主要是补偿因子阶梯标准上的变化,当阶梯标准调整为 5% 时,地方总得补和总支偿均有不同幅度的下降,全省总得补均下降。

全省各省辖市(示范区)各方案补偿情况,见图 4。通过对比以上方案,综合考虑“十四五”环境空气质量改善要求和生态补偿机制的延续性,一是补偿因子上,应增加 O₃ 月均浓度和月均浓度同比变化率,并在“十四五”中期对生态补偿机制实施情况进行评估,进而决定是否增加 NO₂ 月均浓度和月均浓度同比变化率考核因子;二是阶梯标准上,对 PM₁₀、O₃ 月均浓度同比变化率,阶梯标准设在 5 个百分点为宜,为突出 PM_{2.5} 的重要性,其阶梯标准仍设置为 3 个百分点为宜。在此基础上,可以计算出,2020 年地市共得补生态补偿金 63 423 万元、支偿

67 511 万元,其中 PM_{2.5} 月均浓度因子地市共得补生态补偿金 7 820 万元、支偿 7 560 万元,分别占比 12%、11%,PM_{2.5} 月均浓度同比变化率因子地市共得补生态补偿金 22 485 万元、支偿 21 483 万元,分别占比 35%、32%,PM₁₀ 月均浓度因子地市共得补上天补偿金 6 950 万元、支偿 7 315 万元,分别占比 11%、11%,PM₁₀ 月均浓度同比变化率因子地市共得补生态补偿金 8 508 万元、支偿 10 105 万元,分别占比 13%、15%,O₃ 月均浓度因子地市共得补生态补偿金 7 950 万元、支偿 9 160 万元,分别占比 13%、14%,O₃ 月均浓度同比变化率因子地市共得补生态补偿金 9 710 万元、支偿 11 888 万元,分别占比 15%、18%。

河南省 PM₁₀ 污染物最严重,并且存在一定的光化学污染,故在综合考虑各补偿因子情况下,以 PM_{2.5} 浓度同比变化率为主要支偿因子的补偿方法能够很好的适应环境治理潜力和成本变化,提升生态补偿效率,进而对空气质量的改善具有加速效应^[19]。

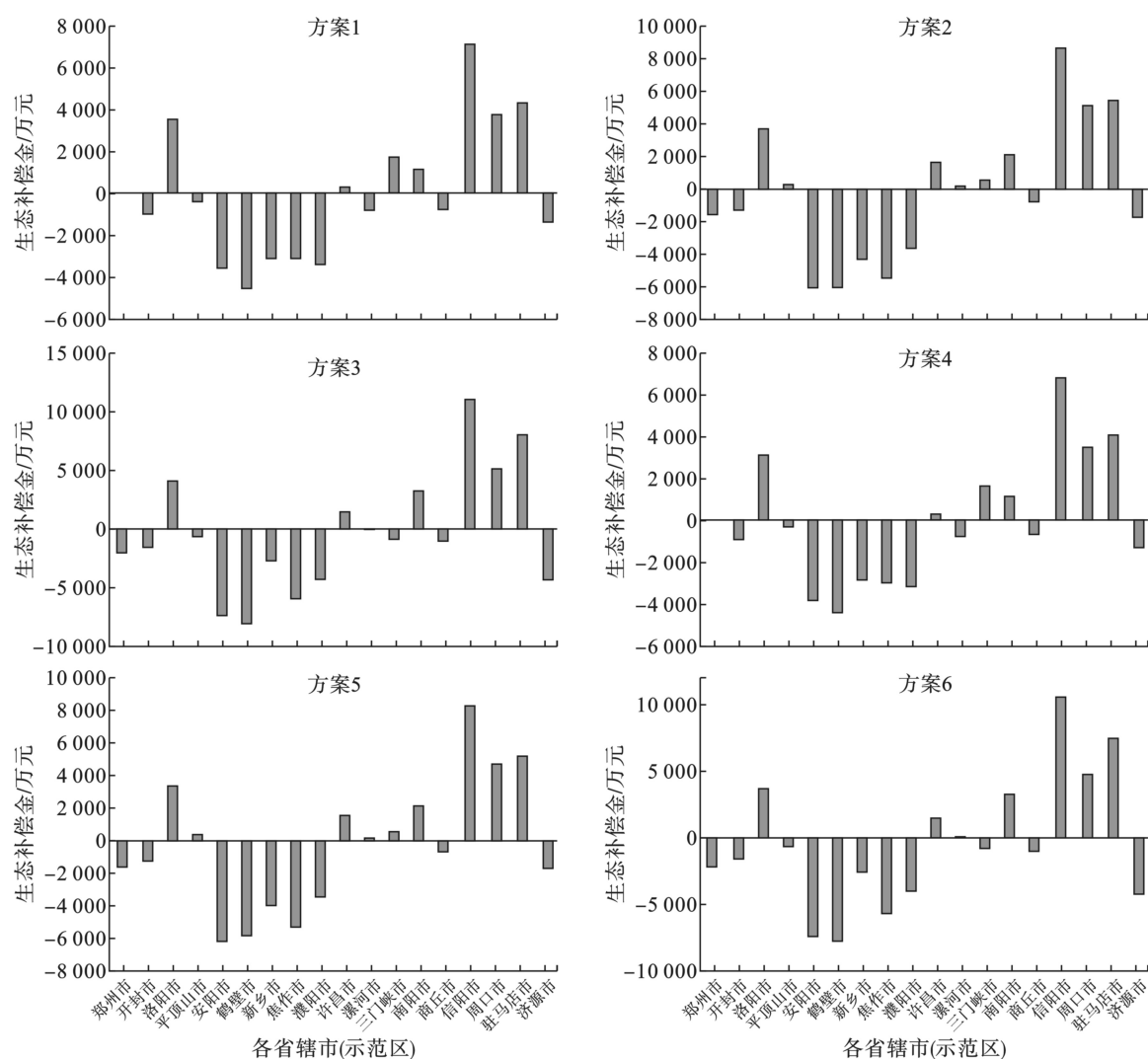


图4 方案1~6河南省各省辖市(示范区)补偿情况对比

Fig. 4 Comparison of compensation conditions of the provincial cities (demonstration zones) in Henan Province for scheme 1-6

3 结论

在分析河南省“十三五”期间大气生态补偿方法的基础上,提出了“十四五”期间增加补偿因子、设置补偿标准和阶梯临界点的生态补偿方法,以2020年为基准,对比分析了河南省各省辖市(示范区)的生态补偿支偿、得补金额,主要结论如下。

(1)“十三五”时期仅考核 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 月均浓度和月均浓度同比改善率,2020年河南省各省辖市(示范区)共支偿47 751万元,得补48 059万元,合计大气生态补偿为308万元。与2017—2019年总支偿和总得补相比,各省辖市(示范区)的奖励和惩罚金额逐步提高,2020年河南省大气环境质量明显改善,大气生态补偿效果逐步显现。

(2)“十四五”环境空气质量生态补偿机制考虑

增加 O_3 和 NO_2 月均浓度和月均浓度同比改善率,与仅考虑 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 月均浓度和月均浓度同比改善率相比,支偿增加了39 246万元,得补增加了34 505万元。阶梯临界点优化设置为5%之后,支偿和得补相应减少了,支偿相应减少了6 547万元,得补相应减少了7 876万元。

(3)从“十四五”生态环境新形势新要求以及人民群众新期待方面看,河南省环境空气质量生态补偿机制仍存在一些不适应新形势新要求的问题。需要结合新形势新要求不断提出调整完善现行生态补偿机制的具体举措。建议国家适时建立京津冀及周边地区等大气污染防治重点区域环境空气质量生态补偿机制,进一步激励相关省份加大大气污染治理力度。

(下转第86页)

- to 2010[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115(16): 4039 – 4044.
- [12] 康文平, 刘树林. 沙漠化遥感监测与定量评价研究综述[J]. *中国沙漠*, 2014, 34(5): 1222 – 1229.
- [13] 张平, 孙强强, 张亚萍, 等. 基于宽波段遥感光谱混合分解的干旱区土地退化监测评价理论和技术方法探讨[J]. *遥感技术与应用*, 2020, 35(2): 497 – 508.
- [14] 李青. 基于 GIS 和 USLE 模型的安庆市水土流失敏感性评价[J]. *水利科技与经济*, 2020, 26(11): 6 – 11.
- [15] 吴秦豫, 张绍良, 杨永均, 等. 基于恢复力的半干旱矿区生态系统退化风险空间评估[J]. *煤炭学报*, 2021, 46(5): 1587 – 1598.
- [16] 袁烽迪, 张溪, 魏永强. 青藏高原生态屏障区生态环境脆弱性评价研究[J]. *地理空间信息*, 2018, 16(4): 67 – 69.
- [17] 夏龙, 宋小宁, 蔡硕豪, 等. 地表水热要素在青藏高原草地退化中的作用[J]. *生态学报*, 2021, 41(11): 4618 – 4631.
- [18] 张懿铨, 李炳元, 郑度. 论青藏高原范围与面积[J]. *地理研究*, 2002(1): 1 – 8.
- [19] 王铁军, 赵礼剑, 张溪. 青藏高原生态屏障区生态环境综合评价方法探讨[J]. *测绘通报*, 2018, 498(9): 112 – 116.
- [20] CHEN J M, BLACK T A. Defining leaf area index for non - flat leaves[J]. *Plant, Cell and Environment*, 1992, 15(4): 421 – 429.
- [21] 贾坤, 姚云军, 魏香琴, 等. 植被覆盖度遥感估算研究进展[J]. *地球科学进展*, 2013, 28(7): 774 – 782.
- [22] CHAFIELD C. The analysis of time series: An introduction[J]. *Technometrics*, 2013, 33(1): 363 – 364.
- [23] LEHTOMÄKI J, MOILANEN A. Methods and workflow for spatial conservation prioritization using Zonation[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2013, 47: 128 – 137.
- [24] MOILANEN A. Landscape Zonation, benefit functions and target-based planning: Unifying reserve selection strategies[J]. *Biological Conservation*, 2007, 134(4): 571 – 579.
- [25] 李丽鹤, 刘会玉, 林振山, 等. 基于 MAXENT 和 ZONATION 的加拿大一枝黄花入侵重点监控区确定[J]. *生态学报*, 2017, 37(9): 3124 – 3132.
- [26] 许小娟. 不同土地利用变化情景下互花米草分布格局及其入侵重点监控区规划[D]. 南京: 南京师范大学, 2016.
- [27] 生物多样性公约缔约方大会第十届会议. 2011—2020 年《生物多样性战略计划》[R]. 日本名古屋: 2010.
- [28] 肖静, 崔莉, 李俊清. 基于 ZONATION 的岷山山系多物种保护规划[J]. *生态学报*, 2016, 36(2): 420 – 429.
- [29] Arroyo Rodriguez V, FAHRIG L, TABARELLI M, et al. Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation[J]. *Ecology Letters*, 2020, 23(9): 1404 – 1420.
- [30] 饶胜, 张强, 牟雪洁. 划定生态红线 创新生态系统管理[J]. *环境经济*, 2012(6): 57 – 60.
- [31] 杨雨薇, 吴迪. 若尔盖县土地沙漠化研究进展[J]. *安徽农学通报*, 2019, 25(18): 98 – 101.
- [32] 赵欣. 新疆水土流失现状与综合治理展望[J]. *水利技术监督*, 2021(11): 59 – 62.
- [33] 杨世凡, 王朝军, 孙泉忠, 等. 贵州省石漠化综合治理成效及对策分析[J]. *中国水土保持*, 2021, 471(6): 8 – 11.

(上接第 71 页)

参考文献

- [1] 河南省人民政府. 河南省污染防治攻坚战三年行动计划 (2018—2020 年) 的通知[R]. 河南省人民政府公报, 2018(19): 4 – 29.
- [2] 焦丽鹏, 刘春腊, 徐美. 近 20 年来生态补偿绩效测评方法研究综述[J]. *生态科学*, 2020, 39(6): 213 – 223.
- [3] 汪惠青, 单钰理. 生态补偿在我国大气污染治理中的应用及启示[J]. *环境经济研究*, 2020, 5(2): 111 – 128.
- [4] Villarroya A, Persson J, Puig J. Ecological compensation: From general guidance and expertise to specific proposals for road developments[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2014, 45: 54 – 62.
- [5] Gilbert E. M. A Distributional Analysis of Green Tax Reforms[J]. *National Tax Journal*, 1999, 52(4): 655 – 681.
- [6] 袁伟彦, 周小柯. 生态补偿问题国外研究进展综述[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(11): 76 – 82.
- [7] 魏巍贤, 王月红. 跨界大气污染治理体系和政策措施——欧洲经验及对中国的启示[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(9): 6 – 14.
- [8] 王前进, 王希群, 陆诗雷, 等. 生态补偿的政策学理论基础与中国的生态补偿政策[J]. *林业经济*, 2019, 41(9): 3 – 15.
- [9] FU Y Y, XIONG K N, ZHANG Z Z. Ecosystem services and ecological compensation of world heritage: A literature review[J]. *Journal for Nature Conservation*, 2021, 60: 125968.
- [10] 王思博, 李冬冬, 李婷伟. 新中国 70 年生态环境保护实践进展: 由污染治理向生态补偿的演变[J]. *当代经济管理*, 2021, 43(6): 36 – 42.
- [11] 任林静, 黎洁. 生态补偿政策的减贫路径研究综述[J]. *农业经济问题*, 2020(7): 94 – 107.
- [12] 王梓懿, 张京祥, 周子航, 等. 生态补偿的价值目标: 国际经验及对中国的启示[J]. *中国环境管理*, 2021, 13(2): 27 – 32.
- [13] 王前进, 王希群, 陆诗雷, 等. 生态补偿的经济学理论基础及中国的实践[J]. *林业经济*, 2019, 41(1): 3 – 23.
- [14] 聂鹏. 空气生态补偿的立法实践及路径推广——以山东省空气生态补偿机制为核心[C]// 生态文明法制建设——2014 年全国环境资源法学研讨会 (年会) 论文集 (第二册). 中国环境资源法学研究会、中山大学: 中国法学会环境资源法学研究会, 2014: 183 – 188.
- [15] 湖北省人民政府办公厅. 湖北省环境空气质量生态补偿暂行办法的通知[R]. 湖北省人民政府公报, 2019(1): 12 – 14.
- [16] 尹珊珊, 贺结. 论我国大气污染生态补偿法律机制的完善[J]. *生态经济*, 2020, 36(5): 176 – 181.
- [17] 魏巍贤, 王月红. 京津冀大气污染治理生态补偿标准研究[J]. *财经研究*, 2019, 45(4): 96 – 110.
- [18] 陈楠, 陈立, 王莉莉, 等. 2015—2020 年湖北省 PM_{2.5} 和臭氧复合污染特征演变分析[J]. *环境科学研究*, 2022, 35(3): 659 – 672.
- [19] 王明仕, 曹景丽, 桂晨露, 等. 基于主成分分析法对河南省大气主要污染物关系的研究[J]. *郑州大学学报 (理学版)*, 2018, 50(2): 122 – 126.