

苔藓作为不同空气质量环境下空气质量监测的生物指示器

Nurulshyha Md Yatim, Nur Izzatul Afifah Azman

吉隆坡大学医学科技学院环境卫生科 马来西亚雪兰莪州加影市 43000

摘要: 由于与其他科学方法相比所具备的优势, 使用生物指示器的空气质量监测目前正在推广并经常被用于研究中。使用生物指示器作为空气质量的生物监测的优点在于它仍然是最便宜、最可利用和最简单的可靠大气监测矩阵。这项研究是为了确定苔藓在暴露于不同的空气质量环境下作为空气质量监测的生物指示器的能力。本研究选择了四种环境条件: 城市地区、保护区森林、起居室和吸烟室。使用白发藓或荷兰苔藓作为监测空气质量的生物指示器。在每个研究地点都放置了网格状的苔藓容器, 持续时间为两个星期。每周通过检查苔藓的颜色变化进行物理观察。苔藓的存活率是通过计算每个容器中苔藓生长的网格数量来确定的。通过对苔藓反应的物理观察和对不同空气质量环境的存活率来记录数据。使用SPSS对数据进行了分析。苔藓对不同的空气质量环境有相应的反应。苔藓在高度污染的环境中, 在吸烟室里, 主要的反应是由新鲜的绿色转变为褐色。总之, 因为苔藓受周围环境的影响而改变其物理外观和生长速度, 它可以作为空气质量监测的生物指示器来确定空气质量状况。

关键词: 空气质量监测; 生物指示器; 苔藓; 城市; 吸烟者

Moss as Bio-indicator for Air Quality Monitoring at Different Air Quality Environment

Nurulshyha Md Yatim, Nur Izzatul Afifah Azman

Environmental Health Section, Institute of Medical Science & Technology, Universiti Kuala Lumpur, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia

Abstract: Air quality monitoring by using bio-indicator currently being promoted and frequently used in studies due to their advantages compared to other scientific approaches. The advantages of using bio-indicator as a bio-monitoring in air quality are, it remains the cheapest, most available and simplest matrix for reliable atmospheric monitoring. This study was conducted to determine moss ability to be used as a bio-indicator for air quality monitoring when expose to different air quality environments. Four environmental conditions were chosen to conduct this study; urban area, reserve forest, living room and smoker's room. *Leucobryum glaucum* or Holland moss is used as the bio-indicator to monitor the air quality. Gridded containers of moss were left at each study location for the duration of two weeks. Physical observation was monitored weekly by examining colour changes of the moss. Survivability rate of the moss was determined by counting the numbers of grid where moss growth in each container. The data was recorded through physical observation of moss responses and survivability rate towards different air quality environment. The data was analyzed by using SPSS. Moss reacted accordingly towards different air quality environments. Moss reacts mostly at highly polluted environment, in smoker's room by changing from fresh green to brownish in color. In conclusion, moss can be used as a bio-indicator in air quality monitoring to determine air quality condition because moss changes its physical appearance and growth rate by the influenced of surrounding environment.

Keywords: air quality monitoring; bio-indicator; moss; urban; smoker

一、引言

空气是一种主要由氧气和氮气组成的无味气体物质。在我们的日常生活中，它对人类健康大有裨益，但它也可能对人类健康造成有害影响。当存在于空气中的污染物数量增加时，这个问题就会出现，例如，产生一氧化碳的汽车尾气、烟草烟雾、产生气体的工厂、露天燃烧活动。砍伐树木和建造更多的摩天大楼并不能帮助改善空气质量状况。这些活动会使空气污染恶化，已经到了非常令人担忧的程度，影响了人类的健康。

马来西亚的空气质量监测工作是由水、土地和自然资源部下属的环境部（DOE）空气部门负责的。任何特定地区的空气质量状况的指标被称为空气污染物指数（API）。空气污染物指数是根据五种主要空气污染物计算的，即二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）、一氧化碳（CO）、直径小于10微米的微粒物质（PM₁₀）和地面臭氧（O₃）。空气污染物的浓度由马来西亚各地的52个自动空气质量站测量。

空气质量监测对于控制空气质量非常重要，它带来了许多科学发展和方法。已实施的空气采样分析方法是化学和物理模型。监测设备等发明有助于监测特定地区的空气质量状况。空气质量监测对于维持空气质量水平在环境部推荐的马来西亚空气质量水平是很重要的。然而，也有一些局限性，如采样耗时和设备成本高^[1]。苔藓由于其成本效益高、监测时间灵活、程序简单，已经被开发出来进行空气质量生物监测^[2]。AL-Alam等人（2019）的研究证明了生物监测是有效的，因为它是一种可靠的被动环境监测，具有可用、可及、便宜和无毒的特点^[3]。使用苔藓的主要优点是，该技术可以对环境污染物进行多残留物分析，能够积累多种类型的有机污染物。因此，通过生物监测可以确定环境中有害物质的评估。经常使用的植被是用于环境污染监测的苔藓、针叶树和地衣。在Bargagli（2016）进行的一项研究中，他得出结论，苔藓和地衣在极端的高山和极地条件下占统治地位，并广泛分布在世界各地^[4]。许多调查显示，这些生物作为大气污染物沉积的生物监测器是可靠的。因此，由于苔藓的专业性、特性和优势，大多数研究人员将其作为生物指示器的优先选择。

自20世纪60年代以来，许多研究将苔藓作为空气质量监测的生物指示器，这是因为苔藓的特性和它对几种类型的空气污染物（主要是重金属）的积累能力^[2-4]。与其他维管植物相比，苔藓的数量众多，分布广泛，因为它具有特殊的形态结构和生理特征，如色素的积累。色

素的积累是由于苔藓的整个表面吸收了水和离子，因为苔藓没有根或内部储水的方法。一般来说，苔藓比内导水物种更适合作为大气污染物的生物监测器^[3, 4]。

学者们已经将生物指示器用于世界范围内的空气质量监测，苔藓作为一种生物指示器方法，其简单、廉价和有用的技术可以提供时间和空间维度的大气元素沉积图^[5]。常见的元素如水分子（H₂O）、二氧化碳（CO₂）、氮气（N₂）被苔藓吸收，还有金属元素如铅（Pb）、镁（Mg）、铀（U）和人为因素的来源。这正好证明了苔藓积累和长期储存的有效性^[6]。

在空气质量监测中使用苔藓作为生物指示器，无论在分析程序中使用什么方法，已经被证明有许多好处。对多环芳烃（PAHs）、颗粒物（PM）、金属和非金属元素的吸收已成为使用苔藓作为空气质量监测的生物指示器的特点之一。Leh等人（2012）进行的一项研究表明，吉隆坡的O₃和PM₁₀污染程度最高，从2008年12月到2009年7月，O₃不健康指数的平均天数为8.33%，PM₁₀为1.39%^[7]。2005年，吉隆坡共有67天的空气质量指数不健康，2006年有5天，2007年有19天^[8]。

根据Norela等人2010年的研究，植物园采样站的污染物平均AQI指数在0-50的良好范围内，该站的记录值分别为9、12、14和3。而在起居室，空气质量指数被标记为不健康（101-200），当窗户打开时，则变为中等（51-100）^[9]。当窗户关闭时，空气质量指数逐渐变回不健康，VOCs和CO₂增加^[10]。这表明，起居室的AQI读数取决于房间的通风路线。

本研究通过观察苔藓的反应和存活率，评估苔藓在不同空气质量环境下对空气污染物的反应。该研究是基于以下目标进行的。

A) 总体目标

研究苔藓在四种不同的空气质量环境中作为生物指示器的能力。

B) 具体目标

●通过物理外观观察苔藓对不同空气质量环境的反应。

●通过观察受影响的区域，确定苔藓在城市地区、森林保护区、吸烟室和起居室的生存能力。

二、材料及方法

（一）研究设计

这项研究是作为一项实验进行的，目的是确定当暴露在不同的空气质量环境中时，苔藓作为空气质量监测的生物指示器的能力。这项研究评估了对苔藓生长和发

展影响最大的空气质量环境。苔藓被放置在四个不同的地点以代表不同的空气质量环境，分别为森林保护区，城市地区，标准的起居室，及吸烟室。在研究期间，观察、记录和分析了苔藓在不同空气质量条件下的反应和生长存活率。

(二) 测试的植物

白发藓 (*Leucobryum glaucum*) 是荷兰苔藓的学名，在本研究中也称为枕头藓。在研究的最初阶段，这种苔藓是从位于雪兰莪州普特拉贾亚的一家当地花园商店购买的。荷兰苔藓通常被用作室内设计材料，在室内创造绿色环境，也被用于制作水族箱^[11]。

(三) 研究地点

为了研究苔藓的反应，我们选择了四个不同的地点。城市地区、森林保护区、起居室和吸烟室作为研究地点，为期两周。在城市地区，苔藓被放置在吉隆坡 Jalan Sultan Ismail 附近的一条繁忙街道上。在森林保护区，苔藓被放置在一个被称为菠萝山森林保护区的地方，这是位于吉隆坡市中心的唯一的原始热带雨林。第三个地点是一个没有吸烟者的标准起居室，最后，苔藓被放置在一个吸烟室。

(四) 实验装置

1. 苔藓容器

苔藓被放置在四个不同的透明容器中，尺寸为 15 厘米 × 15 厘米。每个容器都有标签，并包含一层鹅卵石，一层花园网，以维护土壤和岩石结构的强度，最后是土壤层，为苔藓提供营养物质。从 2019 年 9 月 18 日开始到 2019 年 10 月 2 日的两周研究时间内，将其暴露在研究地点的空气质量状况下。

2. 不同空气质量环境下的苔藓影响区

苔藓容器上准备了方格测量，以记录在各研究地点暴露于空气质量条件下的苔藓影响区域的数据。一个网格测量等于 1 厘米 × 1 厘米，覆盖容器内的苔藓表面。计算的网格为 10 个网格 × 10 个网格，容器内的苔藓总面积为 225 平方厘米。

3. 苔藓的物理观察

苔藓的物理状况是用以前描述的相同方法观察的^[11]。每个研究地点的苔藓对空气质量的反应，在第 1 周和第 2 周后用网格方格进行测量记录。苔藓的物理外观是通过每个容器中苔藓覆盖的面积以及暴露后苔藓的颜色是否改变来观察的。因此，通过测量各个苔藓容器的格子方格来记录受暴露影响的苔藓面积。拍摄的照片被保存为结果的一种形式。

4. 统计分析

苔藓覆盖面积的物理观察数据以图表形式呈现。使用平均值和标准差来代表苔藓覆盖的面积。

三、结果

(一) 对暴露在空气质量环境中的苔藓进行物理观察
进行物理观察是为了了解在研究地点暴露于空气质量条件之前苔藓的物理状况的差异。观察分两个阶段进行：暴露第一周后和暴露第二周后。表 1 列出了暴露第一周和第二周每个容器中苔藓的物理观察。暴露前每个容器中的苔藓状况是健康的，因为物理外观显示出非常明亮的绿色。但在特定的研究地点暴露后不久，就显示出苔藓的不健康形式。苔藓的颜色从绿色变成黄色，再变成褐色。在 1 号和 4 号容器中观察到非常明显的颜色变化，这是城市地区和吸烟室。苔藓的颜色在第一周从绿色变成黄色，在第二周变成褐色。另一方面，2 号容器（在森林保护区）的苔藓与其他容器相比显得更加健康和活泼，而 3 号容器（在标准起居室）的苔藓在暴露 2 周后颜色只有轻微变化。

表 1 在每个研究点对苔藓进行物理观察

Study Location	Before exposure	Week 1 of exposure	Week 2 of exposure
Container 1 (busy street/urban area)			
Container 2 (forest reserve)			
Container 3 (standard living room)			
Container 4 (smoker's room)			

(二) 苔藓在不同空气质量环境的生存能力

在研究期间，苔藓对研究地点的空气质量状况作出了积极反应。苔藓的物理变化已经被确认。苔藓的外观颜色发生了变化，一些生长也被破坏了。通过在每个容器中使用准备好的网格计算受影响的区域，这些变化情况被定义为受影响的苔藓面积。图 1 显示了每个容器中受空气质量条件影响的苔藓面积。在暴露的第一周，与其他容器相比，容器 1 和 4 受影响最大。在暴露的第二周，受影响最大的是 4 号容器（吸烟室），有 8 个网格；其次是 1 号容器（城市地区），有 7 个网格；3 号容器（起居室）有 2 个网格；2 号容器（森林保护区）没有受影响的苔藓面积。

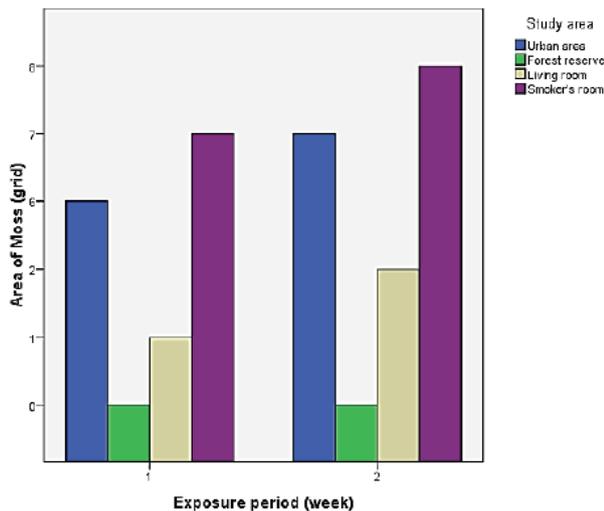


图1 在不同空气质量环境下苔藓影响面积 (网格)

(三) 影响苔藓的空气质量环境

对暴露在不同空气质量环境中的苔藓影响面积的数值进行了分析,以确定对苔藓生存能力的最重要的影响因素。结果显示在表2中。1号容器(城市地区)受影响面积的平均值和标准差是6.50和0.707,2号容器(森林保护区)没有受影响,而3号容器(起居室)数值为1.50和0.707,4号容器(吸烟室)受影响面积最高,为7.50和0.707。这说明苔藓的存活率取决于空气质量环境。根据这一结果,与其他研究地点相比,4号容器暴露在毒性更高的空气环境中。

表2 影响苔藓生存能力的受影响地区^a

空气质量环境	平均值(标准差)
吸烟室	7.50(0.71)
繁华街道/城市地区	6.50(0.71)
起居室	1.50(0.71)
森林保护区	0.00

^a: 描述性分析

四、讨论

(一) 苔藓对不同空气质量环境的反应

苔藓在暴露1周后显示出物理外观的变化。苔藓的反应是根据它们所暴露的空气质量环境而不同的。暴露前,苔藓的外观颜色是比较健康的,有更多的绿色。在暴露第一周后,一些容器的苔藓颜色从绿色变成了黄色和棕色。容器2是个例外,苔藓的外观没有变化,因为与其他容器相比,容器2的苔藓似乎变得更健康。

根据Mccauley等人(2011)的研究,植物改变其物理外观以表明其健康状况^[12]。营养缺乏或毒性条件是导致植物健康状况下降的主要原因。过量的毒性会对植物的生长和质量造成破坏。植物的营养缺乏表现在生长迟

缓、萎缩、叶间萎缩、紫红色和坏死等状况上^[12]。

从本研究对苔藓的物理评估来看,苔藓的几个部分的颜色已经从绿色变成黄色和棕色。苔藓经历了萎缩和坏死。萎缩,是指植物组织的颜色变成淡黄色,表明叶绿素减少,而坏死是指植物组织变成褐色而死亡。

(二) 苔藓暴露在不同空气质量下的生存能力

苔藓会受到不同的空气质量环境的影响。在本研究中,与起居室相比,吸烟室的空气质量条件对苔藓的生存能力影响最大。这一发现可以得到Pochodz和Dymu(2018)的支持。他们发现,与暴露在无烟房间的样本相比,暴露在吸烟室里的苔藓样本积累的重金属浓度更高。但无烟房间也显示出元素的增加,表明空气污染通过通风路线而移动^[13]。这证明了在暴露的第2周,起居室内的苔藓受影响的面积图在增加。

Urošević等人(2017)的研究发现,苔藓样本在被植被包围的植物园中受到较低的空气污染,结论是与植物园附近的街道相比,元素浓度明显降低^[14]。这已经证明了森林保护区(容器2)的空气污染明显较低。与城市地区(容器1)相比,植被起到了抵御污染的作用;而在城市地区,样品被放在繁忙的街道旁边。

五、结论

从研究结果来看,本研究认为苔藓适合作为空气质量监测的生物指示器,作为一种被动监测。作为生物指示器,苔藓可以用来确定特定地区的污染环境,这些污染是由污染暴露引起的。苔藓能够改变其物理外观,并受到环境因素的影响,如酸性环境条件^[11]。

本研究的数据显示,不同的空气质量环境会影响苔藓的生长和外观。总的来说,本研究的结果支持研究假设,即苔藓会根据它们所在的空气质量环境做出反应。当周围环境处于高酸性状态时,苔藓的生存能力会缩短。苔藓对不同空气质量环境的反应影响了苔藓的外观,表明其生长速度减慢了。通过使用苔藓进行生物监测,可以提供简单的操作和较少的时间消耗。除此之外,苔藓还可以用于主动监测,可以根据研究的目标选择实验的地点。

(一) 研究的局限性

尽管这项实验观察研究取得了积极的成果,但在整个研究过程中也遇到了一些限制。苔藓物种是一个进口物种,经过调整以适应我们的环境条件,可能会影响苔藓在空气质量环境的生存能力。如果能提供空气质量监测设备,该研究可以获得更有力的证据和结果。最后,在研究期间,周围地区的天气和其他条件可能会影响苔

藓的生存能力。

(二) 对未来工作的建议

建议在未来的研究中使用本地苔藓类型作为空气质量监测的生物指示器，因为它可以获得适合我们环境条件的良好结果。应提供空气质量监测的设备，以获得更精确的结果。同时，为了得到精确的结果，最好是有较长的照射时间来观察苔藓的变化和对环境的适应。暴露前后的叶绿素提取分析，可以用来支持物理观察的结果。除此以外，还可以对苔藓提取物进行金属分析测量。

参考文献：

1. Marć, M., Tobiszewski, M., Zabiegała, B., Guardia, M. de la, & Namieśnik, J., Current air quality analytics and monitoring: A review. *Analytica Chimica Acta*, 853(1), 2015, pp. 116 - 126.
2. Ares, A., Aboal, J. R., Carballeira, A., Giordano, S., Adamo, P., & Fernández, J. A., Moss bag biomonitoring: A methodological review. *Science of the Total Environment*, 432, 2012, pp. 143 - 158.
3. AL-Alam, J., Chbani, A., Faljoun, Z., & Millet, M. (2019a). The use of vegetation, bees, and snails as important tools for the biomonitoring of atmospheric pollution—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(10), 9391 - 9408.
4. Bargagli, R. (2016a). Moss and lichen biomonitoring of atmospheric mercury: A review. *Science of the Total Environment*, 572, 216 - 231. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.202>.
5. Cao, T., Wang, M., An, L., Yu, Y., Lou, Y., Guo, S., ... Zhu, Z. (2009). Air quality for metals and sulfur in Shanghai, China, determined with moss bags. *Environmental Pollution*, 157(4), 1270 - 1278. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.11.051>
6. Jiang, Y., Fan, M., Hu, R., Zhao, J., & Wu, Y. (2018). Mosses are better than leaves of vascular plants in monitoring atmospheric heavy metal pollution in urban areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph15061105>
7. Leh, O. L. H., Ahmad, S., Aiyub, K., Jani, Y. M., & Hwa, T. K. (2012). Urban air environmental health indicators for Kuala Lumpur city. *Sains Malaysiana*, 41(2), 179 - 191.
8. L Ling, O. H., Ting, K. H., & J, Y. M. (2010). Urban Growth and Air Quality in Kuala Lumpur City, Malaysia *Environment Asia* Available online at www.tshe.org/EA *Environment Asia* 3(2) (2010) 123-128. Retrieved from www.tshe.org/EA
9. Norela, S., Saidah, M. S., Maimon, A., & Ismail, B. S. (2010). PM10 Composition of the Air Quality at the Bukit Nanas Forest Reserve of Kuala Lumpur, Malaysia. *Research Journal of Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.3923/rjes.2010.392.399>
10. Kim, J. Y., Chu, C. H., & Shin, S. M. (2014). ISSAQ: An integrated sensing system for real-time indoor air quality monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 14(12), 4230 - 4244. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2014.2359832>
11. Nurulshyha, M.Y. & Huzaifah, M. (2019). Moss as Bio-indicator for Air Quality Monitoring. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 9(1), 4758-62.
12. McCauley, A., Jones, C., & Jacobsen, J., Plant Nutrient Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms. *Nutrient Management Module*, 2011.
13. Pochodz, A., & Dymu, A. C. Z. (2018). Mosses As Biomonitor of Air Pollution with Analytes Originating from Tobacco Smoke Mosses as biomonitors of environment pollution with selected analytes, 23, 127 - 136. <https://doi.org/10.1515/cdem-018-0008>
14. Urošević, M. A., Vuković, G., Jovanović, P., Vujičić, M., Sabovljević, A., Sabovljević, M., & Tomašević, M. (2017). Urban background of air pollution: Evaluation through moss bag biomonitoring of trace elements in Botanical garden. *Urban Forestry and Urban Greening*, 25, 1 - 10. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.016>