A detailed 3D rendering of coronavirus particles against a red background. The particles are spherical with a textured surface and numerous protruding spike proteins. Some particles are larger and more prominent, while others are smaller and scattered throughout the scene.

2020年3月白皮书

# 如何通过湿度控制 降低病毒传染性和存活时间

# 概要

根据我们收集的研究资料（参见白皮书），湿度与各种病毒的传染性和存活时间之间存在着明显的联系。相关研究表明，在相对湿度（RH）处于40%-50%时，许多常见的有害病毒（如流感病毒和冠状病毒）的惰性化速度比相对湿度小于等于20%时要快得多。研究有力证明了，冬季室外温度低和室内湿度低的地区为病毒传播提供了有利环境。在存在上述环境的地区，可通过室内环境控制限制有害病毒的传播。

## 研究分析

同行评议的文献综述<sup>(1)</sup>中提到的以下脂质包膜病毒，其存活率与相对湿度和温度息息相关：

- 流感病毒
- 冠状病毒（包括严重的急性呼吸综合征相关冠状病毒）
- 呼吸道合胞病毒
- 副流感病毒
- 麻疹、风疹
- 水痘带状疱疹病毒

另一方面，非脂质包膜病毒倾向于在较高（通常为70%以上）的相对湿度下存活更长的时间。具体包括：

- 呼吸道腺病毒
- 鼻病毒





### 温度与湿度的关系

本文档使用了下列定义作为参考：

- 绝对湿度 (AH) — 每千克 (干燥) 空气中含有的水蒸气克数 (克/千克)。
- 相对湿度 (RH) — 特定温度环境中空气中的实际水蒸气量与空气中能够包含的水蒸气最大量之间的比率 (%)。相对湿度为100%表示空气已饱和, 无法承载更多的水分。如果温度出现下降, 会出现冷凝现象。

绝对湿度是在不同温度环境 (例如室内和室外环境) 之间转换相对湿度水平的有效计算手段。对于有室外通风措施的室内环境, 在无其它的湿负荷时, 如果室外相对湿度发生变化, 会影响室内相对湿度水平。

下图所示为温度和湿度之间的关系。在这三种环境中, 绝对湿度 (6克水汽) 和空气质量 (1千克空气) 都是恒定的。

随着温度的提升, 空气体积会膨胀, 其相对湿度和水蒸气分压力也会随之变化。计算室内湿度水平时, 应考虑典型的室外相对湿度和绝对湿度水平。假设室外空气可进入空旷的室内空间, 而且加热时无明显的湿负荷 (例如空气渗漏、建筑材料渗透、明火燃烧或无人员散湿等), 可确定不同温度下室内和室外湿度水平之间的直接关系。

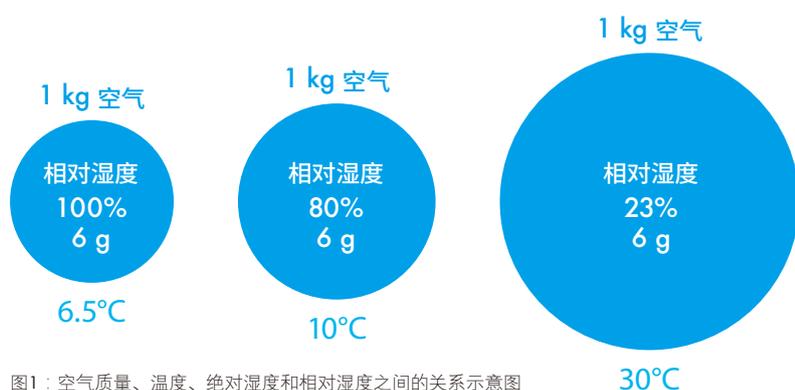


图1：空气质量、温度、绝对湿度和相对湿度之间的关系示意图



为了证明这一点，下表根据2020年3月12日至13日公布的伦敦的室外空气参数，显示了如上段所述的室内空间中可能出现的相对湿度水平。

时间	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00	03:00	06:00	09:00
室外温度 (°C)	8°	9°	9°	7°	7°	6°	7°	6°	8°
室外相对湿度水平气压 (hPa)	60	49	52	67	68	77	70	73	62
室外绝对湿度 (g/kg)	1,011	1,011	1,010	1,011	1,011	1,013	1,014	1,016	1,017
20°C下室内相对湿度	4.00	3.50	3.71	4.18	4.24	4.47	4.35	4.23	4.11
24°C下的室内相对湿度水平	28	24	26	29	29	31	30	30	28

表1：2020年3月12日至13日英国伦敦的气候条件。资料来源：英国气象局

根据表1所示的室外条件，在室内温度为20°C时，室内相对湿度水平处于24%-31%。如果室内温度升至24°C，则室内相对湿度水平为19%-24%。

通过使用焓湿图，可轻松直观地显示特定绝对湿度水平下气温改变对相对湿度水平的影响。通过表1中3月12日09:00时的绝对湿度的测量值（4g/kg），4°C和20°C温度下的相对湿度水平之间的联系显而易见。

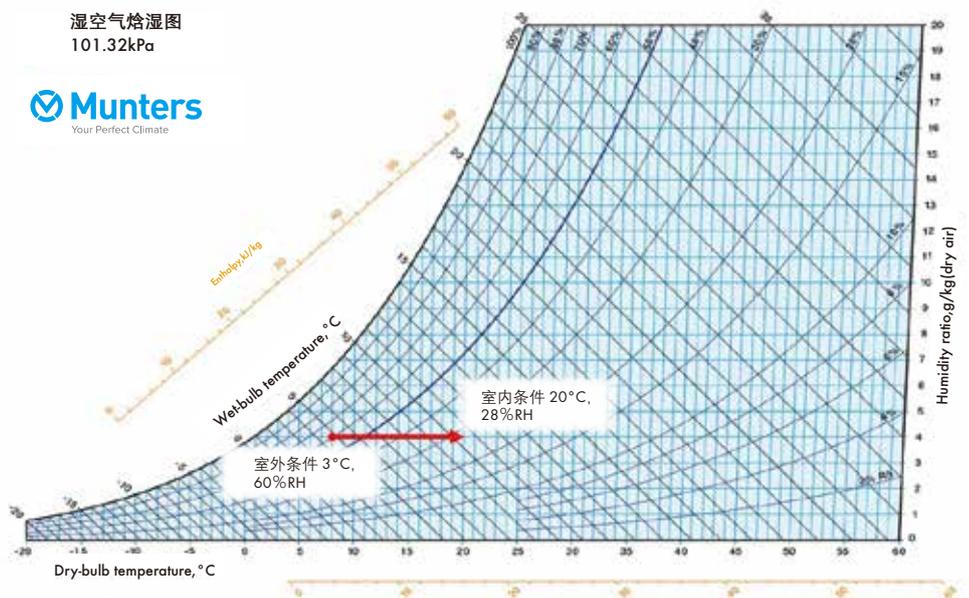


图2：湿空气焓湿图（沿AH 4g/kg线显示8°C和20°C下的相对湿度状况）。

# 湿度对流感病毒传播的影响

引起呼吸系统疾病的病毒通常通过病毒颗粒传播，这些颗粒倾向于通过咳嗽、打喷嚏、说话和呼吸散发<sup>[8]</sup>。这些活动产生了直径在几毫米到<1微米之间的悬浮微粒，大液滴颗粒（直径>50微米几乎立即沉降在地面上），以及直径为10-50微米的颗粒（会在几分钟内沉降）。小颗粒（<10 $\mu\text{m}$ ），包括较大颗粒蒸发后形成的液滴核，可在空气中停留数小时，并且很容易被吸入呼吸道深处。吸入之后，随着时间的流逝，它们会沉降在呼吸道表面上<sup>[9]</sup>。除了颗粒大小以外，气流和气候也会影响这些颗粒在空气中停留的时间。

如果将相对湿度控制在  
45%至50%的范围内  
则传染性迅速下降

表1中列出的气候条件可以与图3和图4相互参照，以推断雾化流感颗粒的传染性和传播效率。

下方的图3显示了不同大小的雾化颗粒的流感传染性与相对湿度之间的关系。

根据表A中的数据，如果室内气温稳定于20°C，在相对湿度24至31%范围内，所有尺寸颗粒物的传染性超过70%。如果将相对湿度控制在45%至50%的范围内，相同气温环境中传染性迅速下降至20%以下。

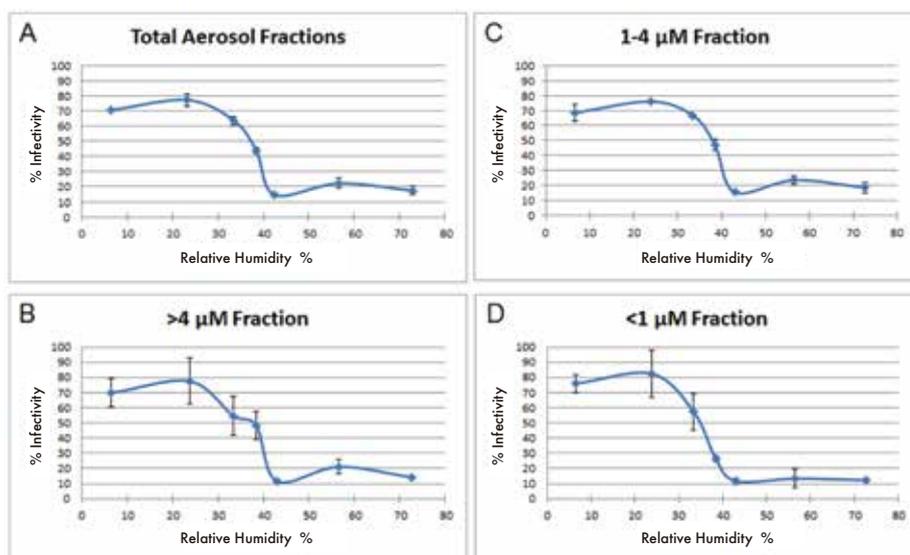


图3：高湿度可降低流感的传染性。流感病毒通过咳嗽动作进入检查室，NIOSH采样器从人体模型的口部、口部左右两侧10厘米处、检查室的P1和P2位置收集气溶胶样本，收集过程持续60分钟。恒温环境中（20°C），相对湿度的变化范围为7%至73%。显示保持传染性的病毒相对于咳嗽之前的百分比。表A：显示通过病毒斑测定法（VPA）确定的所有颗粒尺寸（>4  $\mu\text{m}$ 、1-4  $\mu\text{m}$ 、<1  $\mu\text{m}$ ）传染性病毒的百分比。表B-D：显示了每个气溶胶级分中传染性病毒的百分比。数据为均值6标准误差（n = 5）。 doi:10.1371/journal.pone.0057485.g003[8]

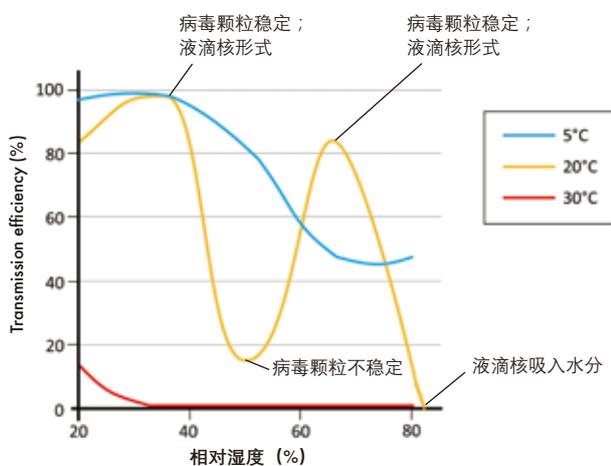


图4：通过活体测试确定的飞沫传播效率随温度和湿度变化情况。通过计算受到感染的百分比而得出的传染率与相对湿度<sup>[2][3]</sup>之间的关系。

颗粒稳定性与传输效率之间的关系如图4所示，相对湿度的影响再次起主要作用，相对湿度为50%左右时，传播效率显著下降。根据表1中的数据，在20°C室内温度和24%至31%相对湿度范围环境中，传播效率介于80%至90%之间，增长较为明显。

其他研究<sup>[4]</sup>显示绝对湿度与流感的存活、传播和基本传染数( $R_0$ )之间有很强的联系。作为参考， $R_0$ 表示在完全易感人群中普通感染者将产生的继发感染数量。下图说明了绝对湿度和基本传染数 $R_0$ 之间的关系。

同样，图5中显示的数据显示了绝对湿度与病毒传播之间的直接联系，即与低室外绝对湿度水平直接相关的室内相对湿度水平将导致相同程度的病毒传播。

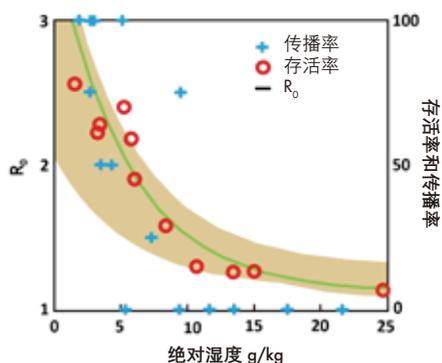


图5：病毒的存活、传播和基本传染数 $R_0$ 与绝对湿度呈现出函数关系。流感病毒存活数据来自Harper<sup>[5]</sup>，流感病毒传播数据来自Lowen等人<sup>[2,3]</sup>， $R_0$ 基于Shaman等人<sup>[6]</sup>的最佳拟合、绝对湿度强制、易感-感染-恢复模拟数据。实线为最佳拟合模拟的基本传染数 $R_0$ 。棕褐色区域显示出基本传染数 $R_0$ 的范围与10个最佳拟合模拟绝对湿度之间呈函数关系。绝对湿度(单位为g/kg)从地面上方2米处进行测量，该数据来自美国国家环境预测中心—国家大气研究中心(NCEP-NCAR)的重新分析<sup>[7]</sup>。

# 湿度在冠状病毒传播中的作用

冠状病毒具有脂质包膜，并受湿度变化的影响。但是，由于操作SARS-CoV和相关病毒的固有风险，需由经过专门培训的人员在生物安全级别3级（BSL-3）的实验室环境中进行研究。也就是说，这种病毒的研究面临很大挑战，关于病毒存活率与环境压力之间关系的数据有限。

## 在20°C环境下 病毒的失活速度比4°C 环境中更快

使用替代冠状病毒有可能克服这些挑战，并可扩展表面冠状病毒存活相关的可用数据。一项研究使用了传播性胃肠炎病毒（TGEV）和小鼠肝炎病毒（MHV）来确定AT和相对湿度对冠状病毒在不锈钢上存活的影响的研究。

在4°C时，传染性病毒会持续长达28天，其失活程度在相对湿度为20%时最低。在所有湿度条件下，病毒的失活在20°C比在4°C时发生得更快；病毒持续5至28天，在低相对湿度条件下其失活发生得最慢。这两种病毒均在40°C时比20°C时失活速度更快。失活与相对湿度之间的关系并非一成不变，并且在低相对湿度（20%）和高相对湿度（80%）时比中度相对湿度（50%）时更易存活或更易受到保护<sup>(10)</sup>。

如果我们再次使用表1中的环境数据（在20°C室内温度和24%至31%相对湿度范围环境），可再次强有力地证明，将室内相对湿度保持在约50%的水平，可降低此类冠状病毒在硬质表面上的存活时间。

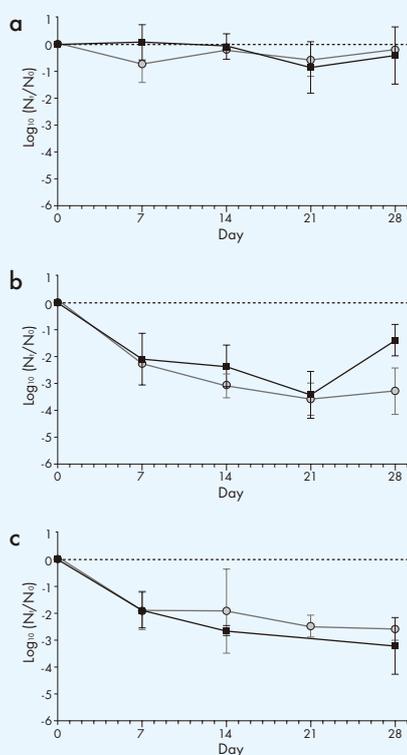


图6：TGEV和MHV在4°C和(a)20%RH、(b)50%RH和(c)80%RH的条件下的存活率。方框：TGEV；圆圈：MHV。误差线表示95%的置信区间<sup>(10)</sup>。

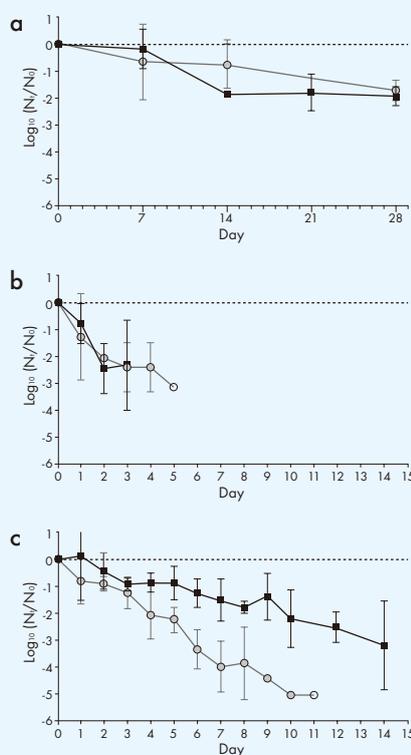


图7：TGEV和MHV在20°C和(a)20%RH、(b)50%RH和(c)80%RH的条件下的存活率。实心方框：TGEV；实心圆圈：MHV；空心圆圈：样本值低于测定的检测极限值（5 log<sub>10</sub> MPN）。误差线表示95%的置信区间<sup>(10)</sup>。

# 结论

控制室内相对湿度水平，可降低有害病毒的传播性和存活时间。通过可精确控制室内相对湿度环境的湿度控制方案，可实现上述控制。这种湿度控制方案适用于所有季节，尤其适用于室外温度和绝对湿度较低的典型“流感季”。

本文件中引用的研究表明，将室内相对湿度水平维持在40%到50%之间，可最大程度发挥对雾化和沉降的病毒颗粒的防护作用。“保持上述湿度范围，有助于实现更健康更安全的环境。”

## 关于蒙特

蒙特在湿度控制领域拥有60多年的丰富经验，能够提供可扩展方案，适用于各类工业、商业和公共服务场合。通过我们的全球服务网络，我们能够为客户提供齐全的产品提供咨询、工程支持、安装和全生命周期管理服务，从而为客户提供及时的优质服务。



# References

- (1) The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents – Julian W. Tang – doi:10.1098/rsif.2009.0227.focus
- (2) Roles of Humidity and Temperature in Shaping Influenza Seasonality – Anice C. Lowen, John Steel
- (3) Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature – Anice C. Lowen, Samira Mubareka, John Steel, Peter Palese – PLoS Pathog 3(10): e151. doi:10.1371/journal.ppat.0030151
- (4) Absolute Humidity and Pandemic Versus Epidemic Influenza – Jeffrey Shaman, Edward Goldstein, and Marc Lipsitch
- (5) Harper GJ. Airborne micro-organisms: survival tests with four viruses. J Hyg (Lond). 1961;59(4):479–486.
- (6) Shaman J, Pitzer VE, Viboud C, et al. Absolute humidity and the seasonal onset of influenza in the continental United States [electronic article]. PLoS Biol. 2010;8(2):e1000316.
- (7) Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull Am Meteorol Soc. 1996;77(3):437–471.
- (8) High Humidity Leads to Loss of Infectious Influenza Virus from Simulated Coughs – John D. Noti\*, Francoise M. Blachere, Cynthia M. McMillen, William G. Lindsley, Michael L. Kashon, Denzil R. Slaughter, Donald H. Beezhold
- (9) Influenza Virus Aerosols in the Air and Their Infectiousness – Nikolai Nikitin, Ekaterina Petrova, Ekaterina Trifonova, and Olga Karpova – <http://dx.doi.org/10.1155/2014/859090>
- (10) Effects of Air Temperature and Relative Humidity on Coronavirus Survival on Surfaces – Lisa M. Casanova, Soyoung Jeon, William A. Rutala, David J. Weber, and Mark D. Sobsey – doi:10.1128/AEM.02291-09



## 适宜的环境改变未来

蒙特是全球节能和可持续气候解决方案的专业服务商与合作伙伴。

凭借创新性的技术，蒙特可为要求严苛的工业应用和农业应用领域提供优质的环境控制方案。自1955年成立以来，蒙特始终致力于先进空气处理技术的开发，并于2017年在纳斯达克斯德哥尔摩交易所上市。



[www.munters.cn](http://www.munters.cn)

### 蒙特空气处理设备(北京)有限公司

**北京** 北京市顺义区天竺空港工业区B区裕华路12号, 101300 / 电话: +86 10 8041 8000 / 传真: +86 10 8048 3493

**上海** 上海市黄浦区延安东路618号远洋商业中心II期22BD, 200001 / 电话: +86 21 6375 8160

**广州** 广州市越秀区中山三路33号中华国际大厦B2501, 510095 / 电话: +86 20 8730 2607

**武汉** 武汉市汉口解放大道686号世贸大厦1810室, 430022 / 电话: +86 27 8544 8689

**香港** 香港九龙长沙湾琼林街93号龙翔工业大厦9楼9B-08室 / 电话: +852 5163 7561

